

CENTRALES NUCLÉAIRES ET ENVIRONNEMENT

Prélèvements d'eau et rejets

edp sciences



CENTRALES NUCLÉAIRES ET ENVIRONNEMENT

Prélèvements d'eau et rejets



Chapitres du guide





Ce guide a été rédigé
par Philippe Hartmann,

assisté de François Bordet, Christian Chevalier, Jean-Luc Colin et Michel Khalanski.

Les auteurs tiennent à remercier vivement les personnes qui ont apporté leur concours à l'élaboration de ce document.

Comité de validation présidé par Alain Vicaud : Philippe Defossez, Danielle Degueuse, Georges Ferry, Anne-Marie Harmand, Gilles Labriaud, Jean-Daniel Mattei, Sylvie Rénier

Secrétariat : Nelly Barbaud, Claire Laboudi, Patricia Wattiez

État-Major de la DPN : Vincent Chrétien, Sophie Topiol

UNIE : Claude Bastian, Thierry Bourcier, Jean-Luc Bretelle, Gérard Château, Jean-Philippe Edouard, Yves Guibbaud, Pierre-Yves Hémidy, Régis K-Zerho, Gwladys Robinet, Marie-Jo Sagot, Eric Terraillon, Didier Vazelle

UTO : Bertrand Lantès

CNPE : Estelle Frossard, Nadine Guillot, Jean-Pierre Kusz, Didier Lundy, Nicolas Murgia, Christine Noang, Claire Pougnard, José Roda, Jean-Claude Zwald,

CIDEN : Amélie Besnard, Johanna Boulos, Cécile Boyer, Marie Cadet, Séverine Cesle, Muriel Fontaine, Noelle Fouquere-Stradiotto, Patrick Fournier, Isabelle Jacquelet, Cécile Machet, Marie Merle, Claire Pougnard, Catherine Rodach, Céline Rety, Magali Siutkowski, Laurence Vieille, Marc Vermogen, Fabien Vermorel, Lilia Zouaghi,

CNEPE : André Lestanguet, Nadine Guillot

CEIDRE : Jacky Audiard, Cécilia Barreau, Géraldine Benoit, Nathalie Carvajal, Amélie Gacon, Nolwenn Gourmelon, Bernadette Laforêt, Romain Le-Meignen, Florian Moyano, Benoit Philippot, Olivier Piana, Marine Pierre, Emmanuelle Pringuez,

EDF R&D : Cécile Delattre, Philippe Ciffroy, Philippe Gosse, Laurent Perotin, Bertille Richard, Didier Rougé, Françoise Siclet, Sylvie Soreau, Régis Thévenet, Nicolas Tousset, François Travade

DJ : Antoine Bizet, Hervé Samzun

Préface

Permettre à la nouvelle génération d'exploitant des centrales nucléaires d'EDF d'acquérir une base robuste sur l'environnement et les centrales nucléaires …,

… offrir à tous, amateurs de vrais livres, ou internautes convaincus, une information pédagogique sur les besoins en eau d'une centrale nucléaire, ses rejets d'effluents dans l'environnement, la surveillance de leurs éventuels impacts, sans oublier le corpus réglementaire applicable, le rôle des autorités de contrôle, …

… c'est ce double défi qu'a relevé une équipe de chercheurs, ingénieurs, juristes, exploitants, tout juste sortis d'une vie professionnelle consacrée entièrement au domaine et forts d'une expertise reconnue, patiemment accumulée au fil des ans dans tous les métiers de l'Entreprise ; ils ont mis toutes leurs connaissances et expériences au service de ce guide.

Le résultat est à la hauteur de leur talent.

Après une synthèse de tout ce qu'il faut savoir en 10 pages, le guide décrit les interactions de ces grands ouvrages industriels avec leur environnement :

– dans un sens, les services écologiques apportés aux centrales nucléaires pour leur permettre de produire l'électricité la moins carbonée et l'une des plus compétitives d'Europe au service du bien-être des hommes et,

– dans l'autre sens, les nombreuses actions mises en œuvre par EDF pour connaître, éviter ou réduire les effets des centrales sur les écosystèmes.

L'organisation de ce guide permet au lecteur de s'y promener au gré de ses besoins ou de sa curiosité. Il y découvre l'importance qu'accorde l'exploitant à informer le public faisant sienne la définition de la transparence d'André Comte-Sponville : «Dire au public tout ce qu'il n'aimerait pas apprendre par d'autre que nous ».

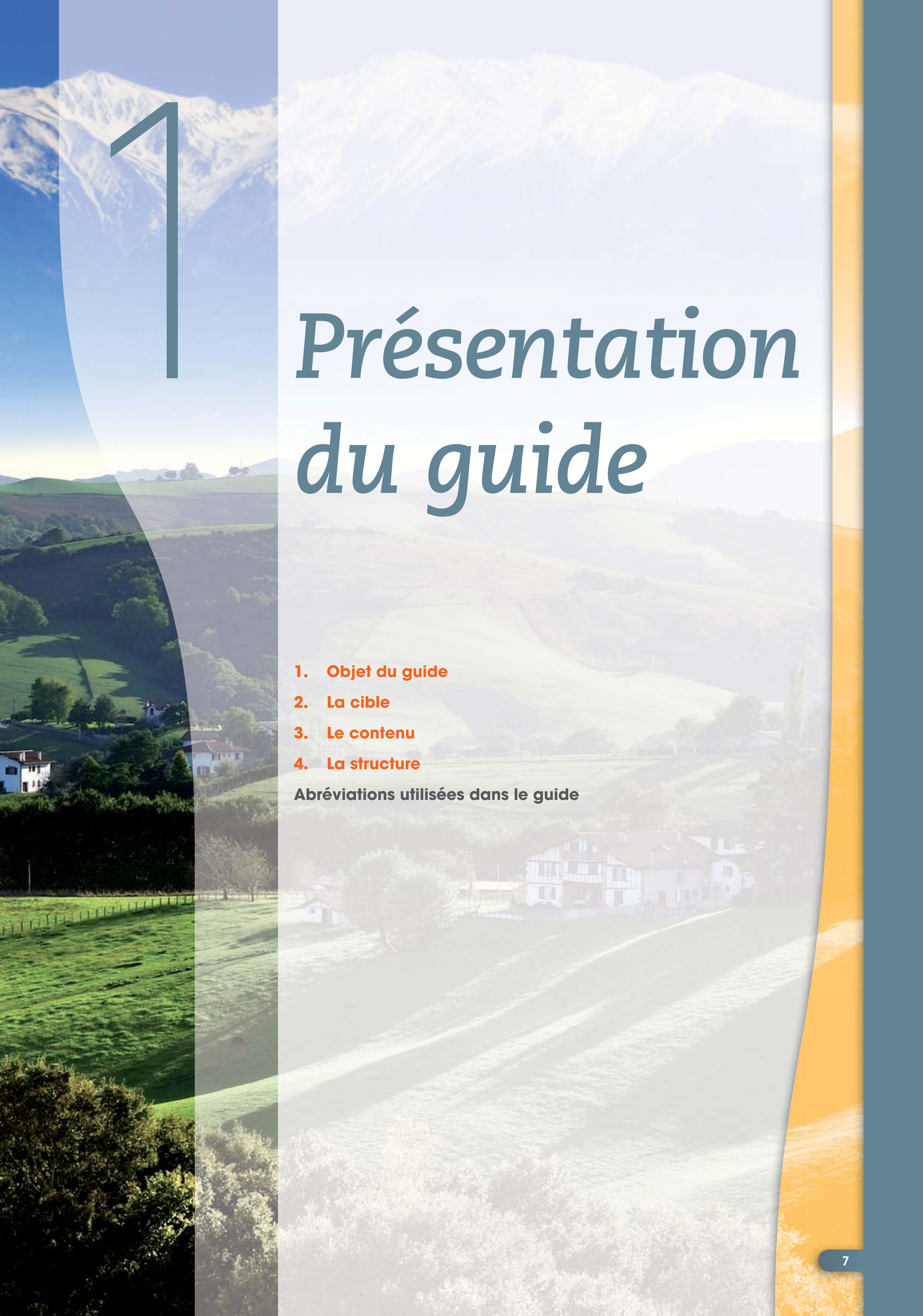
Un tour de la réglementation applicable aux centrales nucléaires amène le lecteur au pied de la pyramide réglementaire française des installations nucléaires de base (INB) avec à son sommet la fameuse loi TSN (Transparence et Sécurité Nucléaire) transposée aujourd'hui dans le code de l'environnement. Un détour par Oslo et Paris avec la convention OSPAR sur la protection du milieu marin ; un saut à Berne et sa convention pour la protection du Rhin, puis, bien sûr, Kyoto et le protocole sur la réduction des gaz à effet de serre, pour terminer à Bruxelles avec nombre de directives et règlements.

Enfin, le guide aborde le contrôle des rejets et la surveillance de l'environnement au voisinage des centrales nucléaires, ce qui permet de suivre les principaux paramètres indicateurs de la qualité des écosystèmes terrestre et aquatique. Référence est faite aux études et aux techniques de mesures les plus sophistiquées pour déceler le moindre effet.

Je remercie les auteurs pour la qualité de ce guide qui éclairera les parcours de tous nos collaborateurs qui entrent dans ce métier passionnant et rigoureux d'exploitant de centrales nucléaires. Sans nul doute, ce guide permettra aussi à un plus grand nombre de mieux connaître comment EDF conjugue les enjeux sociétaux, environnementaux et économiques au service de sa mission de producteur d'électricité.

Alain Vicaud
Directeur de l'environnement et de la prospective
EDF – Production nucléaire





1 Présentation du guide



1. Objet du guide

La production d'électricité à partir d'une centrale nucléaire nécessite de grandes quantités d'eau et conduit à des effluents rejetés dans l'environnement. Quelle est la nature de ces prélèvements d'eau, de ces rejets ? Comment sont-ils réalisés et contrôlés ? Y a-t-il des risques pour l'environnement et la santé publique ? Comment le public en est-il informé ?

Telles sont les questions que tout un chacun, intéressé par les centrales nucléaires et par l'environnement, peut se poser. Ces sujets sont notamment discutés entre l'exploitant et les parties prenantes à l'occasion des consultations du public organisées, lors des procédures administratives de demande d'autorisation de création d'une installation nucléaire (DAC) ou des procédures de modifications des autorisations de rejets et de prélèvements d'eau.

Les réponses apportées sont souvent très techniques et donc difficiles à comprendre pour qui ne possède pas une bonne connaissance du fonctionnement d'une centrale nucléaire et des exigences environnementales relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents.

Aider le lecteur à trouver des réponses à ces questions est l'objectif de ce guide. Pour cela, le guide se veut à la fois **descriptif** (pour bien savoir de quoi il est question) et **explicatif** (pour bien comprendre le sens des éléments exposés).

Ce guide n'aborde pas les déchets radioactifs et conventionnels, ni les rejets en situation accidentelle qui font l'objet de documents spécifiques. Il ne traite pas non plus des questions de paysage et du bruit, ni des substances frigorifiques utilisées dans les circuits de climatisation.

2. La cible

Ce guide s'adresse en priorité aux personnes des centrales nucléaires et des ingénieries nucléaires d'EDF qui, dans le cadre de leurs activités, souhaitent trouver rapidement des informations précises et synthétiques sur la nature et l'impact des prélèvements d'eau et des rejets (direction, exploitants, chimistes des laboratoires, personnel de maintenance, chargés de communication, ingénieurs responsables des questions d'environnement…).

Il s'adresse aussi à toute personne désireuse d'acquérir des connaissances sur le sujet qu'elle appartienne ou non au « monde du nucléaire ».

3. Le contenu

Les thèmes centraux du guide sont :

- les **prélèvements d'eau** nécessaires à l'alimentation et au refroidissement des circuits (besoins en eau) ; les actions engagées pour maîtriser le risque de colmatage des prises d'eau par les salissures biologiques, le risque d'entartrage et de développement microbien,
- les **rejets d'effluents** issus du fonctionnement qu'ils soient radioactifs, chimiques ou thermiques. Le guide fournit des informations sur :
  - leurs caractéristiques,
  - les contrôles réalisés par l'exploitant dans le cadre de la réglementation,
  - leur impact sur les écosystèmes et sur le public,
  - les actions mises en œuvre afin de réduire les rejets,
  - les modalités de surveillance de l'environnement.

Le guide aborde aussi les sujets connexes en présentant :

- la **réglementation** et le rôle de l'administration, notamment son pouvoir de police,
- en quoi une centrale nucléaire est concernée par la préservation de la nature et de la **biodiversité**,
- **l'information du public**.

4. La structure

La structure adoptée pour ce guide permet d'avoir un **aperçu global** du sujet par la seule lecture du chapitre 2 intitulé : «synthèse du guide».

Il a paru nécessaire d'introduire d'emblée un chapitre consacré à la préservation de la **nature et de la biodiversité**, étant donné qu'une centrale nucléaire fait largement usage de ressources naturelles telles que l'eau, l'air et le sol. La production d'électricité étant fortement tributaire de ces ressources, il était important de montrer les actions menées par EDF dans ce domaine ; c'est l'objet du chapitre 3.

Comme l'impact des rejets des centrales nucléaires est un sujet sensible et intéresse particulièrement le public, le thème de l'**information du public** est abordé au début du guide au chapitre 4.

Les chapitres 6, 7 et 8 relatifs respectivement aux besoins en eau d'une centrale nucléaire, aux rejets d'effluents et aux impacts constituent le **corps technique** du guide avec les chapitres 9 et 10 respectivement sur la surveillance de l'environnement et la métrologie environnementale.

Les aspects **réglementaires** sont abordés au chapitre 5 (réglementation) et au chapitre 11 (rôle de l'administration).

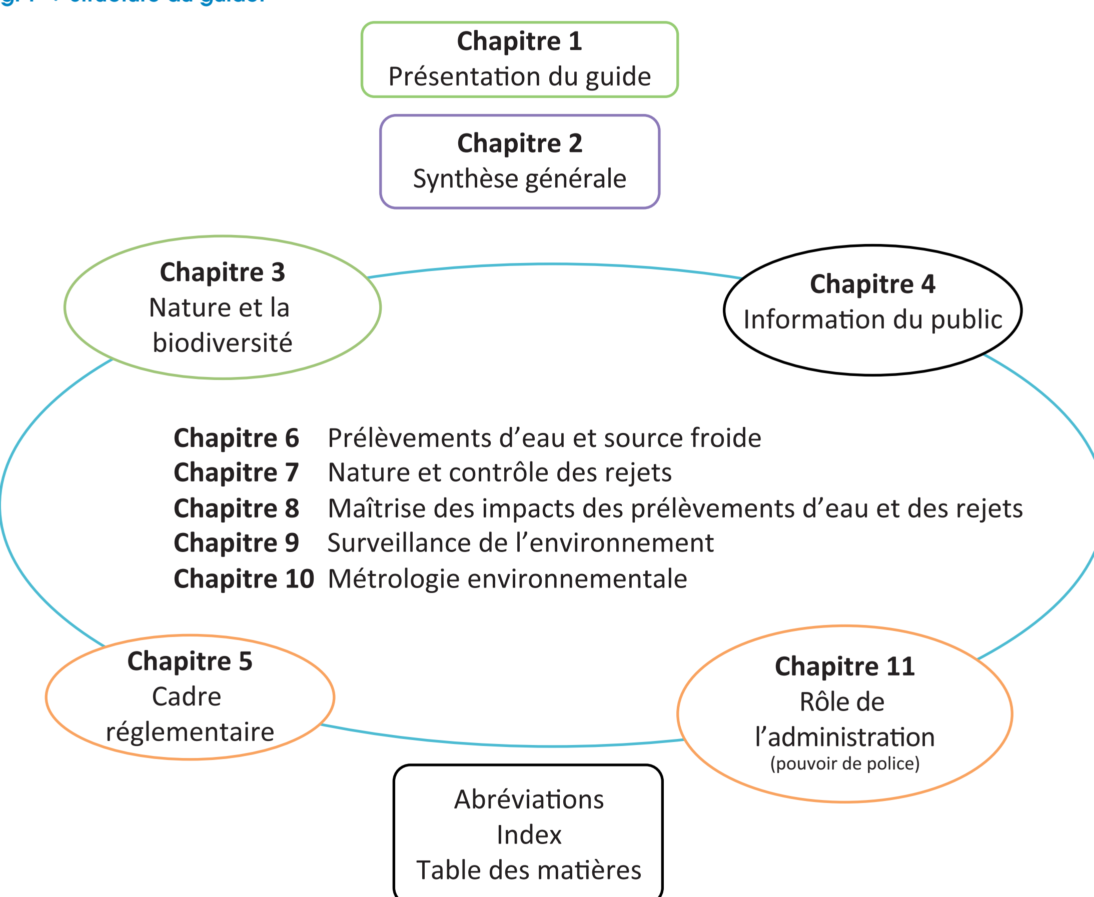
Enfin, le guide comporte un **index** et la liste des **abréviations/acronymes** utilisés.

Les chapitres 3 à 11 sont composés d'un premier paragraphe constituant la synthèse des thèmes abordés et d'une annexe où sont détaillés certains aspects techniques.

Le guide permet ainsi trois niveaux de lecture (globale, thématique et détaillée). Les différents thèmes traités étant très dépendants les uns des autres, le guide indique les renvois permettant de passer d'un chapitre à l'autre.

Ce guide sur les prélèvements d'eau et les rejets des centrales nucléaires d'EDF en France établit un condensé du sujet qui vient enrichir les informations communiquées par ailleurs au travers de rapports, recueils, brochures et du réseau Internet d'EDF.

Fig. 1 ➜ Structure du guide.



Abréviations utilisées dans le guide

A – B

ACV	Analyse Cycle de Vie
AEN	Agence de l'OCDE pour l'Energie Nucléaire
AFNOR	Association Française de NORmalisation
AIEA	Agence Internationale de l'Energie Atomique (Vienne)
ALARA	« *As Low As Reasonably Achievable* » - principe ALARA
ANCCLI	Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information
ANDRA	Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs
ANSES	Agence Nationale de SEcurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APPB	Arrêté Préfectoral de Protection du Biotope
ARS	Agence Régionale de Santé
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
BAC	Bâtiment Auxiliaire de Conditionnement des déchets
BNEN	Bureau de Normalisation des Équipements Nucléaires
BR	Bâtiment Réacteur
BREF	Best available technique REFerence

C

CAB	Commission Administrative de Bassin
CB	Comité de Bassin
CDB	Convention internationale sur la Diversité Biologique
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CETAMA	Commission d'ETAblissement des Méthodes d'Analyses du CEA
CFC	ChloroFluoroCarbone
CHSCT	Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail
CIPR	Commission Internationale de Protection Radiologique
CJCE	Cour de Justice des Communautés Européennes
CLE	Commission Locale de l'Eau
CLI	Commission Locale d'Information
CMR	Cancérigène, Mutagène, Repro-toxique
CNDD	Conseil National pour le Développement Durable
CNPE	Centre Nucléaire de Production d'Electricité (centrale nucléaire)
CoDERST	Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques
COFRAC	Comité FRançais d'Acréditation
COREPER	COmité des REprésentants PERmanents des États membres de l'Union européenne
CSHPF	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
CTHIR	Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection

D

DAC	Décret d'Autorisation de Création
DARPE	Demande d'Autorisation de Rejets et de Prélèvements d'Eau
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DGS	Direction Générale de la Santé du ministère chargé de la santé
DJA	Dose Journalière Acceptable
DJE	Dose Journalière d'Exposition
DOCOB	DOCuments d'OBjectifs
DOE	Débit Objectif d'Etiage
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

E

EDF	Electricité De France
EIE	Evénement Intéressant l'Environnement
EPR	European Pressurized water Reactor
EPTB	Etablissement Public Territorial de Bassin
ESE	Evénement Significatif pour l'Environnement
EURATOM	Communauté EURopéenne de l' énergie ATOMique

F -G – H

FGMN	Fonds de Gestion des Milieux Naturels
FRB	Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
HCFC	HydroChloroFluoroCarbone
HCTISN	Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire
HFC	HydroFluoroCarbone

I

ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
ICRU	Commission Internationale des Unités et mesures des Rayonnements
IFB	Institut Français de la Biodiversité, devenu
IFREMER	Institut FRançais pour l'Exploitation de la MER
INB	Installation Nucléaire de Base
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
InVS	Institut national de Veille Sanitaire
IOTA	Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'eEnvironnement et de l'Agriculture (ex-CEMAGREF)

L – M – O

LEMA	Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
MSNR	Mission de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection
MTD	Meilleures Techniques/Technologies Disponibles
NQE	Norme de Qualité Environnementale
OCDE	Organisme de Coopération et de Développement Economiques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONU	Organisation de Nations Unies
OSPAR	Convention de PARis et d'OSlo sur la protection de l'environnement marin

P

PBT	Persistante, Bioaccumulable, Toxique
PCB	PolyChloroBiphényle
PCR	Polymerase Chain Reaction
PNEC	Predicted No Effect Concentration
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRE	Pôles Régionaux de l'Environnement
PUI	Plan d'Urgence Interne

R

REACH	enRegistrement, Evaluation et Autorisation des substances CHimiques
REP	Réacteur à Eau Pressurisée (PWR en anglais)
RGE	Règles Générales d'Exploitation
RNM	Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement
RTE	Réseau de Transport de l'Electricité
RTGE	Réglementation Technique Générale d'Exploitation

S

SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SFEN	Société Française d'Energie Nucléaire
SFRP	Société Française de RadioProtection
SIC	Site d'Intérêt Communautaire
SME	Système de Management de l'Environnement
SNB	Stratégie Nationale pour la Biodiversité
SoeS	Service de l'observation et des Statistiques (ex IFEN Institut Français de l'Environnement)
SCAP	Stratégie nationale de Création d'Aires Protégées
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique

T – U

TSN	Transparence et Sécurité Nucléaire (loi TSN)
TVB	Trame Verte Bleue
UE	Union Européenne
UFC	Unité Formant Colonie
UFE	Union Française de l'Electricité
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UNSCEAR	Comité Scientifique des Nations Unies sur les Effets des Radiations Atomiques
UTE	Union Technique de l'Electricité

V – W – Z

VNF	Voies Navigables de France
WWF	Fonds Mondial pour la Nature (World Wild Fund for nature)
ZICO	Zone d'intérêt Communautaire pour les Oiseaux
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique
ZPS	Zone de Protection Spéciale
ZSC	Zone Spéciale de Conservation


Index

E

CHAPITRES

F

CHAPITRES

G

CHAPITRES

H

CHAPITRES

I

CHAPITRES

L

CHAPITRES









2 Synthèse générale



1. Introduction

1.1 Situation et emprise au sol d'une centrale nucléaire

Une centrale nucléaire se compose d'un ensemble d'installations permettant la production d'électricité. Suivant le cas, elle est composée de deux à six unités de production ; chaque unité étant essentiellement équipée d'un réacteur nucléaire et d'un groupe turbo-alternateur produisant l'électricité.



Salle de commande et lignes électriques de la centrale nucléaire de St-Alban sur le Rhône (2 × 1 300 MWe).

En 2013, le parc nucléaire d'EDF comprend 19 centrales nucléaires dénommées : Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) implantés :

- en bord de rivière : Garonne (1), Loire (4), Vienne (1), Rhône (4), Seine (1), Moselle (1), Meuse (1), Rhin (1),
- en bord de mer : Manche (3), Mer du nord (1),
- en estuaire : Gironde (1).

Au total, 58 réacteurs à eau sous pression sont en exploitation[1], avec une puissance unitaire de 900 MWe (34 réacteurs), 1 300 MWe (20 réacteurs) et de 1 450 MWe (4 réacteurs). Un réacteur de type EPR[2] de 1 650 MWe est en construction sur le site de Flamanville. Les EPR appartiennent à la même filière des réacteurs à eau légère pressurisée que celle des réacteurs construits dans les années 1980-1990 (*cf.* chapitre 7 annexe 7.1). Les questions des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents sont donc de nature semblable.

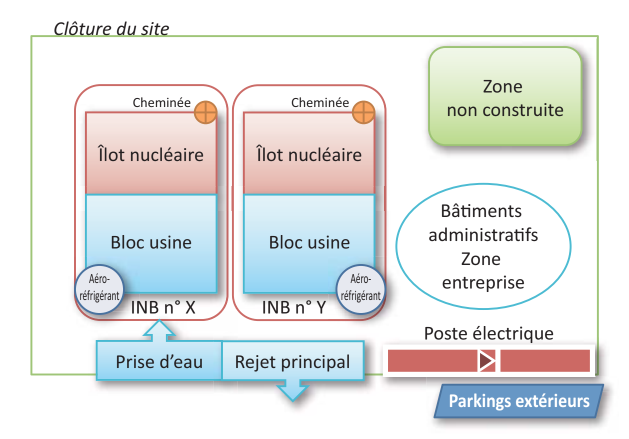
La superficie d'un CNPE varie entre 55 et 415 hectares suivant le nombre d'unités de production et le mode de refroidissement utilisé. Dans cet espace clôturé, chaque unités de production est constituée :

- d'un **îlot nucléaire** (bâtiment du réacteur, bâtiment des auxiliaires nucléaires, ateliers chauds, laboratoires…) à l'origine de la production d'effluents notamment radioactifs liquides et gazeux,
- d'un **bloc usine** (salle des machines, aéroréfrigérants le cas échéant, station de production d'eau déminéralisée, ateliers, laboratoires…) donnant lieu à des rejets chimiques et thermiques (*cf.* fig. 1).

Ces deux ensembles forment l'**Installation Nucléaire de Base (INB)** dont le périmètre est précisé dans le dossier de Demande d'Autorisation de Création (DAC).

Par ailleurs, un espace regroupe les bâtiments administratifs et ceux du personnel des entreprises prestataires. Ces installations produisent des effluents de type urbain (eaux vannes, eaux pluviales).

Fig. 1 ➜ Délimitation d'un site à deux unités de production en rivière (principe)



1.2 Structure et fonctionnement

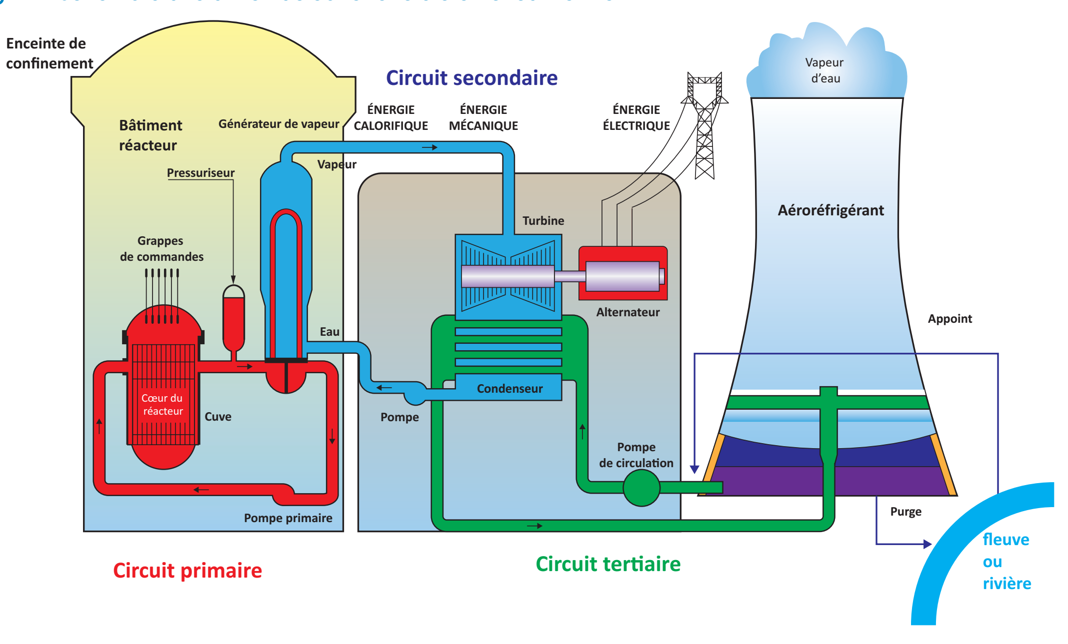
Une unité de production comprend trois principaux circuits indépendants : le circuit primaire, le circuit secondaire et le circuit tertiaire de refroidissement.

Circuit primaire d'eau sous pression (volume compris entre 270 m³ et 460 m³ selon le palier de puissance)

Le circuit primaire est composé du réacteur relié par des tuyauteries aux générateurs de vapeur (3 ou 4 générateurs suivant la puissance) et à un pressuriseur qui maintient l'eau du circuit sous forte pression (155 bars)[3]. L'eau du circuit primaire circule en boucle grâce à de puissantes pompes et s'échauffe en traversant le cœur du réacteur ; en fonctionnement,

1. La production d'électricité d'origine nucléaire par EDF a commencé à compter des années 1960 avec la mise en service de réacteurs de la filière « uranium naturel graphite gaz » (Chinon A1, A2 et A3, Saint-Laurent A1 et A2 et Bugey 1), d'un réacteur à neutrons rapides (Super Phénix) et d'un réacteur à eau légère (Chooz A). Ces réacteurs sont aujourd'hui arrêtés.
2. EPR : *European Pressurized water Reactor.*
3. 155 fois la pression atmosphérique.

Fig. 2 ➜ Schéma d'une unité nucléaire refroidie en circuit fermé



sa température varie entre 286 °C et 323 °C selon la puissance. Ces matériels sont implantés dans un bâtiment confiné, dénommé Bâtiment du Réacteur (BR). Du fait des rayonnements émis par le réacteur, l'eau du circuit primaire est radioactive.

Circuit secondaire « eau-vapeur »
(volume compris entre 2 000 m^3 et 2 500 m^3 selon le palier de puissance)

Dans le circuit secondaire, l'eau suit un cycle thermodynamique fermé qui la fait passer alternativement de phase liquide en phase gazeuse (vapeur). La vapeur issue des générateurs de vapeur sous pression (58 bars – 77 bars) alimente la turbine entraînant l'alternateur, puis s'échappe de celle-ci vers le condenseur composé d'un ensemble de tubes parcourus par de l'eau froide prélevée au milieu aquatique (fleuve, rivière, mer). Reprise par de puissantes pompes, l'eau parcourt le poste d'eau puis le circuit d'alimentation des générateurs de vapeur pour recommencer son cycle. N'étant pas en contact direct avec l'eau du circuit primaire, l'eau du circuit secondaire n'est pas radioactive.

Circuit tertiaire
(volume compris entre 25 000 m^3 et 50 000 m^3 selon le palier de puissance)

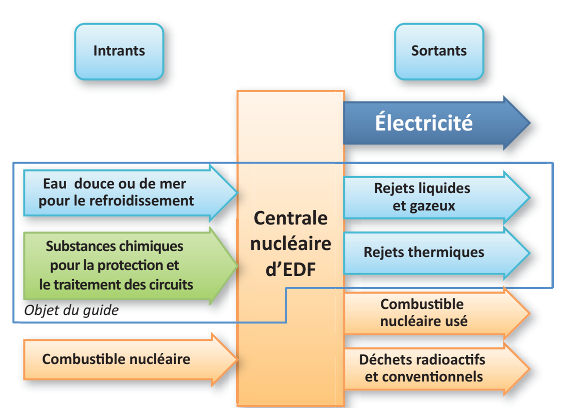
Le refroidissement du condenseur peut être assuré en circuit « ouvert » ou en circuit dit « fermé ». En **circuit ouvert**, l'eau prélevée au milieu parcourt l'intérieur des tubes du condenseur en s'échauffant à leur contact puis retourne directement au milieu aquatique. Dans ce cas, l'énergie thermique extraite du condenseur est intégralement transférée au milieu aquatique. En **circuit dit « fermé »** au contraire, l'énergie thermique extraite est cédée en quasi-totalité à l'atmosphère au moyen d'un aéroréfrigérant. Ce circuit fait l'objet d'un appoint d'eau prélevée en rivière et d'une purge continue par laquelle une faible partie de l'énergie thermique est transférée au cours d'eau (*cf.* fig. 2).

Pour produire de l'électricité, une centrale nucléaire a notamment besoin :

- de combustible nucléaire, composé d'oxyde d'uranium ou de plutonium pour alimenter le réacteur ; le combustible est renouvelé en partie tous les 12-18 mois,
- d'eau prélevée en rivière ou en mer pour assurer le refroidissement des installations, principalement les condenseurs des groupes turbo-alternateurs produisant l'électricité, et alimenter les différents circuits,
- de substances chimiques pour la protection et le traitement des circuits.

Son fonctionnement produit des effluents liquides et gazeux, radioactifs et chimiques dont les rejets dans l'environnement sont réglementés. L'eau prélevée en mer ou en rivière pour le refroidissement des installations conduit à des rejets thermiques faisant eux aussi l'objet de limites réglementaires, *cf.* chapitres 5 et 11 du guide. Une centrale nucléaire génère par ailleurs des déchets radioactifs et conventionnels du fait des activités liées à son exploitation (*cf.* fig. 3).

Fig. 3 ➜ Les intrants et les sortants d'une centrale nucléaire





2. Besoins en eau d'une centrale nucléaire

Le territoire français métropolitain reçoit annuellement, en moyenne, 440 milliards de m^3 d'eau douce provenant des précipitations. Environ 61 % de cette eau s'évapore, le restant alimente les cours d'eau et les glaciers (environ 16 %) ou s'infiltre dans le sol pour reconstituer les réserves souterraines (23 %)[1]. Les quatre grands fleuves (Garonne, Loire, Rhône, Seine) collectent 63 % des eaux du territoire.

Pour leurs besoins, l'agriculture, le secteur de l'énergie, l'industrie ainsi que les ménages prélèvent et consomment[2] de l'eau dont la répartition par usage est donnée sur la figure 4.

L'eau prélevée pour la production d'énergie sert essentiellement au refroidissement des centrales thermiques à flamme et des centrales nucléaires, *cf.* chapitre 6 du guide.

Lorsque la centrale nucléaire est refroidie en circuit dit « ouvert » (*cf.* fig. 5), le prélèvement est important : 38 à 61 m^3/s ; rapporté à l'énergie électrique nette produite par la centrale, celui-ci varie de 150 à 230 L/kWh[5]. Ce type de circuit ne peut être installé que sur des sites en bord de mer ou sur des grands fleuves. En circuit ouvert, l'eau prélevée est restituée en quasi-totalité (> 99 %) au milieu aquatique après s'être échauffée.

Dans le cas des centrales équipées d'aéroréfrigérants, le prélèvement d'eau est réduit à quelques m^3/s, il ne représente plus qu'entre 5 à 20 L/kWh rapporté à l'énergie électrique nette produite, mais une partie de l'eau prélevée (environ 40 % soit environ 2,5 L/kWhnet) s'évapore dans la tour en émettant un panache de vapeur et ne regagne pas le cours d'eau (*cf.* fig. 6).

Quel que soit le type de circuit de refroidissement, l'eau joue un rôle primordial dans le fonctionnement d'une centrale nucléaire (*cf.* tab. I).

Fig. 4 ➜ Prélèvements[3] et consommations[4] d'eau douce en France par usage

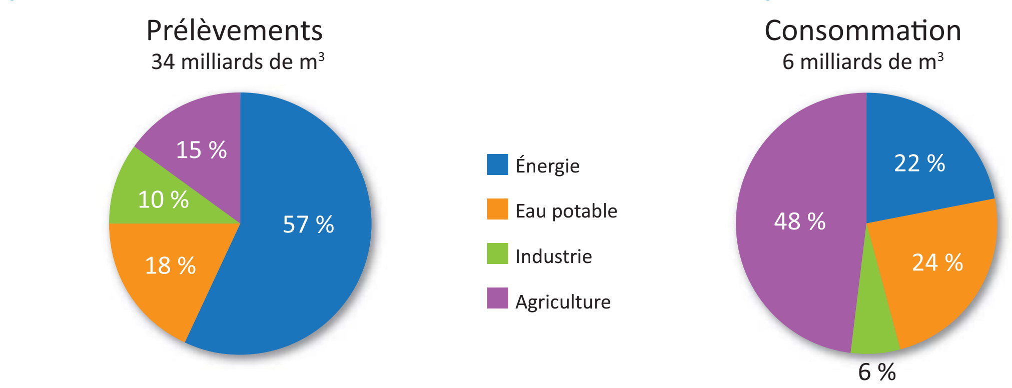
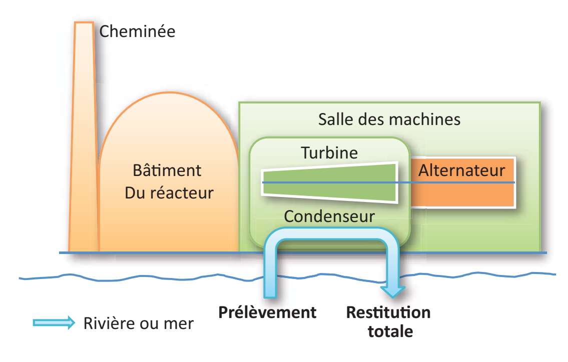


Fig. 5 ➜ Circuit de refroidissement ouvert

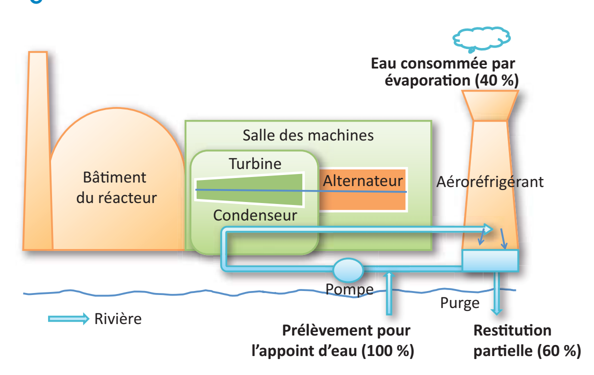




Centrale nucléaire de Penly sur la Manche (2 × 1 300 MWe – 230 ha).

1. Données issues du site www.cieau.com
2. Les prélèvements correspondent à la quantité d'eau prise dans le milieu naturel, tandis que la consommation évalue les quantités d'eau prélevées qui ne retournent pas, après usage, dans le milieu aquatique.
3. Données SOeS (ex IFEN) 2007 pour l'année 2004.
4. Données SOeS (ex IFEN) 2006 pour l'année 2001.
5. 1 kWh est l'énergie qui permet d'alimenter un radiateur électrique de 1 000 W pendant 1 heure.

Fig.6 ➜ Circuit de refroidissement fermé





Centrale nucléaire du Bugey sur le Rhône (4 × 900 MWe – 100 ha).

Tab. I Volume d'eau douce prélevée et évaporée annuellement par une unité de production nucléaire

Prélèvement et évaporation d'eau douce	Unité refroidie en **circuit ouvert** Millions de m³/an	Unité refroidie en **circuit fermé** Millions de m³/an
Ordre de grandeur du volume annuel moyen prélevé pour une unité	900 à 1 900	40 à 140
Volume annuel moyen évaporé par unité	-	12 à 21

Quelques chiffres sur l'utilisation de l'eau[1]

1 tonne d'acier :	20 m³
1 tonne de papier :	40 m³
1 tonne de plastique :	2 000 m³
1 tonne d'aluminium :	125 000 m³
Consommation quotidienne d'un français :	150 à 200 L
1 kWh centrale en circuit ouvert	150 à 230 L
1 kWh centrale en circuit fermé	5 à 20 L

3. Nature des rejets d'effluents

Comme beaucoup d'autres activités industrielles, l'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents liquides et gazeux, *cf.* chapitre 7 du guide. Bien que les effluents fassent, pour la plupart, l'objet de traitement, les rejets contiennent des traces de produits radioactifs créés par la réaction nucléaire et des substances chimiques résiduelles issues des différents circuits. L'eau de refroidissement des condenseurs et échangeurs de chaleur s'échauffe et entraîne des rejets thermiques.

3.1 Rejets radioactifs liquides et gazeux

Le réacteur nucléaire est le siège de la formation de produits radioactifs (produits de fission PF, produits d'activation PA) dont seule une infime partie passe dans l'eau du circuit primaire et se retrouve dans les effluents gazeux et liquides (*cf.* tab. II).

Tab. II Ordres de grandeur des rejets annuels radioactifs
Ramenés à une unité de production, années 2002-2011

	Rejets radioactifs liquides Pour une unité GBq/an **	Rejets radioactifs gazeux Pour une unité GBq/an **
Tritium	10 000 à 30 000	200 à 2000
Carbone 14	10 à 20	130 à 270
Iode	< 0,01	0,01 à 0,32
Autres PF, PA*	< 1	0,002 à 0,007
Gaz rares	-	300 à 2300

*PF = produit de fission ; PA = produit d'activation ; ** GBq = Gigabecquerel soit 10^9 Bq

1. www.economie-d-eau.com



Ceux-ci sont collectés de façon sélective et systématiquement traités afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Après traitement et contrôle du niveau de radioactivité notamment, les effluents sont rejetés par voie atmosphérique (à la cheminée) ou par voie liquide (vidange de réservoirs) en respectant les procédures et les limites fixées par la réglementation.

3.2 Rejets chimiques liquides

Les rejets liquides de substances chimiques sont classés en deux catégories :

- les rejets de substances chimiques associées aux effluents radioactifs liquides et aux eaux d'exhaure non radioactives des salles des machines,
- les rejets de produits issus des autres circuits non nucléaires (circuit de refroidissement des condenseurs, station de déminéralisation, station d'épuration, …).

Dans la première catégorie de rejet, on trouve l'acide borique servant au pilotage du réacteur ainsi que les produits de conditionnement utilisés pour éviter la corrosion des circuits primaire, secondaire et de réfrigération des circuits auxiliaires (hydrazine, lithine, morpholine, éthanolamine, ammoniaque, phosphate).

La seconde catégorie de rejet concerne principalement les substances issues du traitement de lutte contre le tartre (sulfates, chlorures, polyacrylate) ou contre le développement d'organismes vivants (produits biocides) dans les circuits de refroidissement des condenseurs. Des traitements à l'eau de Javel sont pratiqués afin d'éviter l'encrassement des circuits par des organismes fixés (algues, moules…). La monochloramine est utilisée pour éliminer les germes pathogènes. Pour les centrales nucléaires équipées de condenseurs dont les tubes sont en laiton (alliage de cuivre et de zinc), l'usure des tubes par érosion-corrosion donne lieu à des rejets de cuivre et de zinc (*cf*. tab. III).

3.3 Rejets chimiques gazeux

Une centrale nucléaire n'émet pratiquement pas de substances chimiques par voie gazeuse. Les émissions proviennent des groupes électrogènes de secours constitués de moteurs diesels ou de turbines à combustion consommant du gasoil (SO_2, NO_x), des pertes de fluides frigorigènes et des émanations de certaines substances volatiles utilisées pour la protection et le traitement des circuits (vapeurs d'ammoniac…).

3.4 Rejets thermiques

Dans une centrale nucléaire, seul un tiers de la puissance thermique produite par le réacteur (3 000 $MW_{thermique}$) peut être convertie en électricité (1000 $MW_{électrique}$) en vertu du principe thermodynamique de Carnot.

Dans un circuit « ouvert », l'énergie non transformée en électricité est cédée en totalité au milieu aquatique (mer ou rivière).

En circuit « fermé », 95 % de l'énergie non transformée en électricité est transférée à l'atmosphère par l'intermédiaire d'un aéroréfrigérant où elle se dissipe par évaporation et convection. Dans ce cas, seule 5 % de l'énergie restante environ est libérée dans le cours d'eau.

L'échauffement du milieu aquatique, c'est-à-dire l'écart entre la température de l'eau à l'entrée des installations (amont) et celle à l'aval du rejet après mélange, dépend de trois facteurs principaux :

- la production de la centrale qui varie en fonction de la demande d'électricité,
- le débit du cours d'eau soumis à des variations saisonnières,
- les conditions météorologiques qui influencent l'efficacité des aéroréfrigérants.

Pour les sites marins, l'échauffement est influencé par le cycle des marées.

Quel que soit le mode de refroidissement ouvert ou fermé, l'échauffement du milieu aquatique est limité par la réglementation propre à chaque site (*cf*. tab. IV).



Centrale nucléaire de Civaux (deux unités de 1 450 MWe implantées sur 220 hectares en bord de Vienne).

1. EDF Nucléaire et Environnement 2010–2011.

Tab. III Ordres de grandeur des principaux rejets annuels chimiques, ramenés à une unité de production, années 2010-2011

Provenance	Substances chimiques	Quantité annuelle rejetée pour une unité[1] En kg
Substances chimiques associées aux effluents radioactifs et aux eaux d'exhaure des salles des machines	Acide borique	1 000 à 7 000
	Hydrazine	⩽ 6
	Lithine	⩽ 1
	Morpholine	40 à 250
	éthanolamine	10 à 150
	Ammonium	⩽ 3 000
	Phosphates	⩽ 1 000
Usure des tubes de condenseurs en laiton (Belleville, Cattenom, Cruas, Dampierre)	Cuivre	⩽ 5 500
	Zinc	⩽ 1 700
Traitement antitartre des aéroréfrigérants	Sulfates (Golfech, Nogent, Chooz)	200 000 à 500 000
	Chlorures (Cattenom)	600 000
	Polyacrylates (Nogent)	25 000 à 30 000
Traitement biocide à la monochloramine des circuits de refroidissement fermé . (Bugey, Dampierre, Chinon, St-Laurent, Golfech, Nogent, Chooz)	Ammonium	⩽ 350
	Nitrates	15 000 à 80 000
	Nitrites	⩽ 3 000
	AOX	⩽ 350
	Sodium	10 000 à 80 000
	Chlorures	10 000 à 100 000
	Chlore résiduel total	40 à 600
Traitement biocide à l'eau de Javel des sites marins	Bromoformes	3 000 à 20 000
Station d'épuration STEP	Azote K	⩽ 800
	DBO5	⩽ 400
	DCO	⩽ 2 000
	P	⩽ 200
	Matières en suspension	⩽ 1 100
Station de production d'eau déminéralisée	Sulfates	⩽ 70 000
	Chlorures	1 500 à 100 000
	Sodium	5 000 à 60 000
	Matières en suspension	150 à 50 000

Tab. IV Ordre de grandeur des échauffements dans le circuit de refroidissement et dans le milieu aquatique

	Centrale en rivière refroidie en **circuit fermé**	Centrale en rivière refroidie en **circuit ouvert**	Centrale marine refroidie en **circuit ouvert**
échauffement maximum dans le circuit de refroidissement	20 °C* ($T°_{purge\ aéroréfrigérant} - T°_{prise\ d'eau}$)	10 °C ($T°_{sortie\ cond.} - T°_{entrée\ cond.}$)	12 - 15 °C ($T°_{sortie\ cond.} - T°_{entrée\ cond.}$)
échauffement du milieu aquatique****	< 1 °C*	< 3 °C**	< 1 °C***

* *cf.* chapitre 7 §5.2
** moyenne sur la journée entre l'amont et l'aval après mélange
*** entre la prise d'eau et la limite du panache de rejet (à 50 m du point de rejet).
**** les limites autorisées sont présentées par centrale au chapitre 7 annexe 7.7



4. Contrôle des rejets et surveillance de l'environnement

L'exploitant met en place un programme de contrôle des rejets et de surveillance de l'environnement conformément aux prescriptions réglementaires, *cf.* chapitres 5, 9 et 10 du guide.

Les contrôles ont pour objectif de vérifier le respect des limites fixées par l'Autorité de sûreté nucléaire en ce qui concerne les prélèvements d'eau, les rejets radioactifs, chimiques et thermiques ainsi que les paramètres d'environnement (activités volumiques, concentrations, températures…). En complément, l'exploitant effectue une surveillance de l'environnement dont la finalité est notamment d'évaluer, sur la durée, l'impact sanitaire et environnemental des prélèvements et des rejets de son installation (*cf.* fig. 7).

Fig. 7 ➜ Contrôle et surveillance de de la radioactivité dans l'environnement d'une centrale nucléaire en bord de rivière

Lait

Mesure du lait

Contrôle des rejets

Contrôle de l'eau en amont et en aval

Mesure de l'eau de pluie

Mesure des poussières atmosphériques et de la radioactivité ambiante

Mesure de l'herbe

5. Impacts liés aux prélèvements d'eau et aux rejets

L'autorisation de construction d'une centrale nucléaire est soumise à la production d'une étude d'impact environnemental comprenant un « état de référence ». Celle-ci décrit notamment les caractéristiques du milieu naturel dans lequel le site est localisé et évalue les effets possibles des futures installations sur les écosystèmes, le paysage, les populations avoisinantes ainsi que la vie économique locale. Si des effets négatifs notables sont identifiés, elle propose des mesures conservatoires et/ou compensatoires pour les limiter ou les éviter.

Lorsque la centrale est en exploitation, un programme de surveillance de l'environnement est mis en place. L'exploitation des données des programmes de surveillance, portant également sur des zones non influencées par la centrale, permet notamment de vérifier que l'impact environnemental reste dans les limites de l'étude d'impact initiale ayant conditionné l'autorisation de fonctionnement des installations. Les données collectées sur plusieurs décennies montrent que les écosystèmes présentent des évolutions temporelles ayant des causes naturelles (réchauffement climatique) ou artificielles (autres industries ou activités) indépendantes du fonctionnement des centrales, *cf.* chapitre 8.

L'impact des rejets radioactifs sur le public est déterminé par le calcul de la dose efficace pour les personnes susceptibles d'être les plus exposées aux rejets (*cf.* chapitre 8 §4.1). Dès lors que la dose efficace, exprimée en millisievert (mSv), est inférieure aux limites fixées par la réglementation et que, par ailleurs, l'exploitant montre qu'il a réduit ce niveau de dose aussi bas que raisonnablement possible en vertu du principe d'optimisation, l'ensemble de la population est considérée comme protégée.

5.1 Impact lié aux prélèvements d'eau

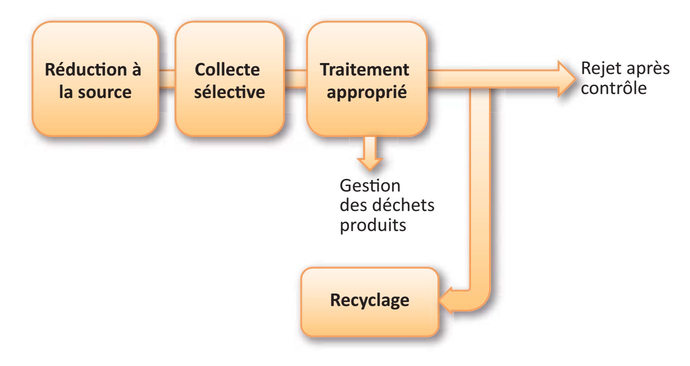
Les organismes aquatiques de grande taille peuvent être aspirés dans les ouvrages de prise d'eau, ils sont alors plaqués sur les filtres qui protègent les circuits et finalement, ils sont évacués avec les débris filtrés. Ce sont principalement des poissons juvéniles qui sont aspirés en raison de leur faible vitesse de nage et les centrales en circuit ouvert en mer et en estuaire sont les plus concernées par ce type d'impact. Les quantités de poissons aspirés atteignent quelques centaines de tonnes par an pour l'ensemble des sites. Malgré l'importance de ces chiffres, l'observation des populations de poissons sur de longues périodes montre que les stocks de poissons ne sont pas menacés par ce prélèvement, ce qui est en accord avec les estimations faites à l'aide de modèles numériques.

Par ailleurs, des seuils sont construits sur les rivières pour garantir le niveau du plan d'eau à l'entrée des prises d'eau. Afin de maintenir la circulation des poissons grands migrateurs (saumons, aloses…) et plus généralement la circulation de nombreuses espèces de poissons, les ouvrages sont équipés de passes à poissons dont l'efficacité fait l'objet d'un programme de suivi.

5.2 Impact des rejets radioactifs liquides et gazeux

Les actions d'optimisation consistent prioritairement à réduire, à la source, la production d'effluents partant du principe que le « *meilleur effluent est celui qu'on ne produit pas* ». La collecte sélective et le traitement approprié des effluents en vue de leur recyclage éventuel viennent compléter le dispositif visant la réduction des rejets (*cf.* fig. 8).

Fig. 8 ➜ Principe d'action pour réduire les rejets radioactifs liquides et gazeux



Ces actions ont notamment permis de réduire fortement les rejets radioactifs liquides et gazeux depuis la mise en service des centrales nucléaires.



S'agissant des rejets radioactifs liquides hors tritium et carbone 14, ceux-ci ont été réduits d'un facteur 100 entre 1985 et 2000 et les rejets radioactifs gazeux (gaz rares) ont été divisés par 10 depuis les années 1980. Ces rejets ont depuis atteint un niveau « plancher » résultant de la volonté de l'exploitant d'agir pour réduire les rejets d'effluents « *aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des aspects économiques et sociaux* », en vertu du principe d'optimisation (*cf.* chapitres 5, 7 et 8 du guide).

De ce fait, les rejets radioactifs liquides et gazeux ne sont plus constitués essentiellement que par le tritium et le carbone 14, faiblement radiotoxiques, dont on mesure la présence à l'état de traces dans les zones influencées par les rejets.

Selon les calculs effectués avec des modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement, la personne du public la plus exposée aux rejets radioactifs reçoit une dose de rayonnement représentant moins de 0,01 millisieverts par an (0,01 mSv/an) que l'on peut comparer à la limite réglementaire fixée à 1 mSv/an pour les expositions artificielles. Cette dose est inférieure aux fluctuations naturelles de la radioactivité en France (quelques mSv/an) et se situe bien en-deçà du niveau d'exposition naturelle moyen, à savoir 2,4 mSv/an (*cf.* fig. 9).

5.3 Impact des rejets chimiques

Les efforts des exploitants ne portent pas uniquement sur la réduction des substances radioactives. Ils concernent également les effluents chimiques pour lesquels une démarche d'optimisation est mise en œuvre visant, en priorité, à réduire leur production à la source. Les autorisations de rejet limitent les teneurs de substances chimiques dans l'eau à des valeurs permettant la protection des milieux aquatiques. Ces limites peuvent porter sur des concentrations journalières ou annuelles et tiennent compte de l'éventuelle présence de ces substances à l'amont du site. Par ailleurs, une Evaluation Quantitative des Risque sur la Santé (EQRS) est réalisée pour s'assurer de l'innocuité des rejets chimiques sur les utilisateurs de l'eau. Les études de surveillance de l'environnement permettent de vérifier les prévisions faites lors des études d'impact initiales et de détecter une éventuelle évolution des écosystèmes.

5.4 Impact des rejets thermiques

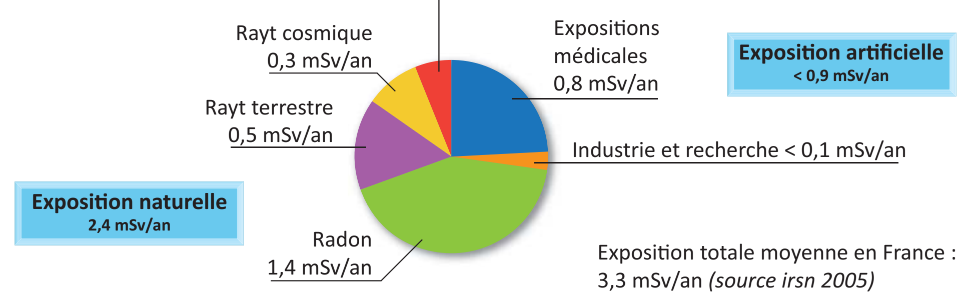
Sur les cours d'eau, l'échauffement entre l'amont et l'aval, exprimé en valeur moyenne journalière, est de quelques degrés pour les centrales refroidies en circuit ouvert et de quelques dixièmes de degré dans le cas des centrales équipées d'aéroréfrigérants.

Les expérimentations et les études de terrain menées en France depuis les années 1960 permettent d'identifier les effets des rejets thermiques en rivières et de délimiter l'extension des zones impactées ; elles sont complétées par l'exploitation des données recueillies dans le cadre des programmes de surveillance hydroécologique à long terme, des centrales nucléaires.

Sur les sites de centrales en rivière équipées d'aéroréfrigérants, les peuplements d'organismes du fond (peuplement benthique) et de poissons ne présentent pas de modifications mesurables. On observe, en revanche, des changements (chute d'abondance des d'invertébrés) en aval proche des rejets thermiques de centrales en circuit ouvert dans les zones exposées en permanence à des échauffements importants. Ces effets locaux s'estompent ensuite vers l'aval lorsque l'eau échauffée est bien mélangée dans le débit fluvial. Par ailleurs, l'exploitation des données des programmes de surveillance montre une dérive des peuplements aquatiques en relation avec le changement climatique.

Sur les sites des centrales de bord de mer, les programmes de surveillance hydroécologique n'indiquent pas de changement des peuplements du fond imputables aux rejets thermiques en limite de la zone du panache de rejet correspondant à un échauffement après mélange d'environ 1 °C.

Fig.9 ➜ Exposition aux rayonnements ionisants de la population française en mSv



6. Information du public

Les centrales nucléaires suscitent de nombreuses questions de la part du public très préoccupé de santé et d'environnement. L'exploitant se doit de répondre à ces attentes ; pour cela, il met à la disposition du public des informations qu'il s'efforce de rendre le plus intelligible possible, *cf.* chapitre 4.

Les informations relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets sont accessibles directement sur Internet[1] et sont présentées à l'occasion des visites de site. Le public reçoit indirectement des informations de la part de la Commission Locale d'Information (CLI) destinataire des rapports d'activité de la centrale.

L'ASN joue également un rôle dans l'information du public, soit directement en mettant sur son site Internet des données sur l'environnement des centrales nucléaires, soit indirectement en contrôlant les informations que l'exploitant est tenu de transmettre à toutes les parties prenantes (CLI…), notamment celles rapportées au Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) accessible sur Internet (www.mesure-radioactivité.fr).

En cas d'événement affectant l'environnement, le public est informé au même titre que les pouvoirs publics et les autorités de contrôle. Cette information est délivrée le plus rapidement possible au moyen de communiqués de presse et mis sur le site Internet de l'ASN (www.asn.fr) et d'EDF (http://energie.edf.com/en-direct-de-nos-centrales).

Par ailleurs, la législation a renforcé le besoin de répondre aux questions du public en créant, en 2006, le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN) qui est une instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités sur la santé des personnes, sur l'environnement et sur la sécurité nucléaire.

7. Préservation des habitats naturels et de la biodiversité

La production d'électricité, qu'elle soit d'origine nucléaire ou non, nécessite l'utilisation de ressources naturelles. Qu'il s'agisse du terrain sur lequel la centrale est bâtie, de l'eau prélevée pour assurer le refroidissement des circuits, du milieu naturel dans lequel sont réalisés les rejets, le fonctionnement d'une centrale nucléaire est fortement tributaire des services écologiques fournis par la nature, *cf.* chapitre 3.

Réduire et, si possible, éviter les impacts sur l'environnement d'une centrale nucléaire est une préoccupation permanente dont l'origine remonte à la création du parc nucléaire, dans les années 1970. Afin d'en mieux connaître les impacts et d'y remédier, chaque projet de construction a ainsi fait l'objet d'études poussées, fondées sur des programmes de recherche et des campagnes de mesure.

Respecter l'eau, l'air et le sol, c'est participer à la préservation de la nature. La préservation de sa biodiversité est devenue un enjeu mondial, comme en témoignent les nombreux textes internationaux, en particulier européens et nationaux qui soulignent l'importance économique et sociale des services rendus par la nature.

Comme d'autres industriels, EDF a élaboré, en 2006, une « politique biodiversité » dont les orientations sont appliquées aux centrales nucléaires : connaître les écosystèmes, réduire les impacts, sensibiliser et former le personnel sur ces questions.

Dans ce contexte, il a paru utile de commencer ce guide par un chapitre consacré à ce sujet dont dépend, en partie, le fonctionnement des centrales nucléaires.



1. http://energie.edf.com/nucléaire:environnement



Annexe 2.1

Implantation des centrales nucléaires d'EDF









3 Nature et biodiversité



1. Introduction

La préservation de la biodiversité est considérée comme un des enjeux majeurs de la protection de l'environnement au niveau mondial, car la variété des espèces vivantes de la planète s'érode de plus en plus en raison des activités humaines.

De par son activité de producteur d'électricité, EDF utilise les espaces naturels terrestres et aquatiques. Ses installations, comme les centrales nucléaires, sont très dépendantes de la nature et de ses ressources que sont l'eau, l'air et le sol. De ce point de vue, EDF comme tous les énergéticiens est un utilisateur des services écologiques (*cf.* encart).

Au-delà du respect des lois et des règlements en vigueur, EDF réalise des actions visant à réduire autant que possible l'impact de ses installations sur les écosystèmes, voire à compenser les éventuelles dégradations causées par leur construction et leur fonctionnement (*cf.* annexe 3.1).

La prise en considération de ces questions à EDF se construit autour de sa politique « Biodiversité » élaborée en 2006[1]. Cette politique est fondée sur trois axes :

- la connaissance des écosystèmes notamment par des études de terrain,
- la minimisation des impacts des ouvrages de production d'électricité,
- la formation du personnel aux enjeux liés à la biodiversité et l'information du public.

Les actions engagées par EDF en faveur de la biodiversité s'inscrivent dans un contexte réglementé par des conventions internationales, des directives européennes et des textes de droit national (lois et règlements). Elles sont organisées en concertation avec d'autres entreprises françaises et le monde associatif. La démarche d'EDF dans ce domaine fait l'objet d'une collection de guides comprenant un guide général intitulé « Notre démarche biodiversité » publié en 2011 et des guides thématiques dont un sur le nucléaire.

2. Biodiversité : un nouveau paradigme

Connaître, éviter, réduire ou compenser les effets des installations de production d'énergie sur l'environnement ou la santé humaine est une préoccupation déjà ancienne dans les pays développés. Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, les centrales nucléaires ont été parmi les installations industrielles pionnières en matière d'études d'impact, de contrôle des émissions de chaleur, de substances chimiques et radioactives, de surveillance de l'environnement susceptible d'être affecté par ces émissions. Des programmes de recherches ont été engagés, dès la phase de conception, pour réduire les émissions polluantes, prévoir la dispersion des polluants rejetés dans l'environnement, appréhender les réponses biologiques et les minimiser.

Dans le sillage du déploiement des trois piliers du développement durable (progrès économique, justice sociale, préservation de l'environnement) issus du Sommet de la Terre de Rio en 1992, l'idée s'est progressivement imposée que les usages de la nature par toutes les activités humaines ne peuvent plus être découplés des conséquences sociales et économiques qu'ils impliquent. La Convention internationale sur la Diversité Biologique (CDB) issue du Sommet de Rio a mis en lumière la nécessité d'une mobilisation mondiale pour la biodiversité (*cf.* §3). Des entités internationales, des états, des entreprises, ont pris des engagements pour garantir un usage durable des ressources naturelles. Les producteurs d'électricité nucléaire sont parties prenantes de ces engagements (*cf.* §4).

Depuis la publication de l'étude de l'ONU sur *l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire en 2005*, nous savons que l'exploitation intensive et sans contraintes des ressources naturelles et, en particulier, des ressources vivantes telle qu'elle est pratiquée n'est pas durable.

Il ne s'agit plus alors seulement de maîtriser l'impact des rejets de polluants d'une installation industrielle particulière, mais de définir sa dépendance aux services écologiques et ses effets sur ces services. L'importance économique des services écologiques et de la biodiversité fait l'objet de nombreuses investigations aux niveaux international, européen et national.

1. Politique Biodiversité d'EDF SA signée le 22 mai 2006.

Services écologiques et valeur de la biodiversité

L'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, étude réalisée par l'ONU en 2005, a permis de mettre en évidence l'importante contribution des écosystèmes au bien-être des humains au travers de deux notions de base que sont :

- les services écologiques,
- la valeur de la biodiversité.

Services écologiques

Les services écologiques sont les fonctions de la nature qui contribuent directement ou indirectement au bien-être des êtres humains. Par analogie, on peut comparer la nature au capital d'une entreprise et les services écologiques aux produits fabriqués par cette dernière.

Parmi les principaux services écologiques, on trouve :

- les **services de régulation** contrôlant certains paramètres environnementaux tels que la régulation du climat, de la qualité de l'air, des débits des cours d'eau, …
- les **services d'approvisionnement** fournissant des biens que l'homme utilise pour sa nourriture, sa santé, sa sécurité, …,
- les **services socioculturels** procurant des bénéfices non matériels (plaisir associé aux activités récréatives ou culturelles, …).

Valeur de la biodiversité

La nature est peu prise en compte dans les systèmes économiques car elle a longtemps été considérée comme inestimable. N'ayant pas de prix au sens économique du terme, les individus ont eu tendance à agir comme si elle n'avait pas de valeur. Ceci a parfois conduit à faire des choix néfastes pour le bien-être des populations humaines.

Attribuer une valeur financière aux services écologiques rendus par la nature et la biodiversité peut changer la donne et modifier certaines prises de décisions.

Une réflexion a été menée sur ce thème dans l'étude sur *l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire*. Celle-ci considère qu'en quantifiant l'altération des services écologiques causée par les activités humaines, il est possible de faire contribuer les responsables à la restauration des écosystèmes affectés ou à des actions de compensation.

L'évaluation économique de la biodiversité distingue notamment les valeurs suivantes :

- *les valeurs d'usage directes* concernant tout ce qui est utile à l'alimentation, au chauffage, à la fabrication de médicaments, au tourisme (paysage)…,
- *les valeurs de non-usage*, ou *valeurs intrinsèques* : elles sont relatives à la satisfaction de savoir qu'un actif ou un état de fait désirable existe. Ces valeurs sont notamment liées aux notions de respect de l'environnement, de droit des générations futures. Elles permettent de justifier la protection d'espèces menacées ou la préservation de sites naturels.

3. Mobilisation pour la biodiversité

Le terme « **biodiversité »** – contraction de « diversité » et de « biologique » – a été introduit pour la première fois dans la littérature scientifique dans les années 1980. Il s'applique à la composante vivante de la biosphère. Plus qu'un strict inventaire des espèces présentes, la biodiversité s'attache à étudier la diversité du vivant (bactéries, champignons, végétaux, animaux) aux trois niveaux d'organisation croissante que sont les gènes, les espèces et les écosystèmes (*cf.* encart).

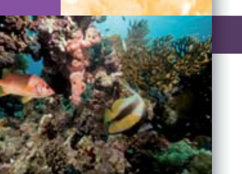
3.1 Sur le plan international

À partir des années 1970, la nature apparaît comme un patrimoine mondial essentiel à transmettre aux générations futures et plusieurs conventions internationales ont été établies en vue de protéger des espèces et des espaces naturels. Les plus importantes sont citées ci-après.

Convention de Ramsar (Iran) sur les zones humides, 1971[1]

Initialement limitée à la protection des oiseaux migrateurs, la convention a été élargie progressivement à la protection des zones humides. Celles-ci abritent de nombreuses espèces de la faune et de la flore et jouent un rôle important sur le plan écologique (filtration des eaux de surface, exutoires en cas de fortes pluies évitant ainsi les inondations) et sur le plan économique local (tourisme, gastronomie, …). Les actions prises en faveur de la

1. Convention RAMSAR du 2 février 1971 relative aux zones humides d'importance internationale (art. 3 et 4).



Qu'est-ce qui menace la biodiversité ? Les enjeux

Les espèces comme les individus naissent, se développent et s'éteignent. Depuis le début de l'ère industrielle, le rythme d'extinction s'est accéléré entraînant un appauvrissement du monde vivant. Les principales causes de la perte de la biodiversité sont :

- la destruction des habitats et la modification des milieux naturels,
- la rupture de la continuité des écosystèmes (*cf.* trame bleue et verte §3.3),
- la dégradation de la qualité chimique des masses d'eau et de l'air par les polluants anthropiques,
- la surexploitation des ressources vivantes (plantes, poissons, ...),
- l'introduction d'espèces exotiques envahissantes qui se développent aux dépens des espèces locales,
- le changement climatique qui perturbe les équilibres naturels,
- l'eutrophisation des eaux continentales et marines par les apports d'azote et de phosphate.

Par ailleurs, la nature continue de créer de la biodiversité, mais à un rythme très lent (la durée de vie d'une espèce est d'environ 1 million d'années). Dans ces conditions, la communauté internationale (ONU, UICN) considère qu'il est urgent d'arrêter la perte de cette biodiversité car elle ne pourra pas être rétablie et entraînera inévitablement une réduction des choix possibles de développement pour les générations futures.

préservation de ces zones humides donnent droit au label Ramsar garant d'une gestion attentive de ces milieux fragiles, si importants pour la biodiversité. La France, qui a perdu 50 % de ses zones humides durant la seconde moitié du XXe siècle, a ratifié la convention en 1986. Il existe plus d'une trentaine de sites bénéficiant du label international Ramsar en France. Les sites Ramsar se superposent souvent à d'autres zones protégées telles les réserves naturelles, les terrains du Conservatoire du littoral et les sites « Natura 2000 » (*cf.* §3.3).

Convention sur la Diversité Biologique (CDB) de Rio, 1992[1]

Le Sommet de la Terre à Rio de 1992 a produit des conventions et des textes internationaux qui ont marqué le départ d'une prise de conscience mondiale des questions d'environnement et d'écologie.

Le **programme « Action 21 »** (*Agenda 21 en anglais*) est un ensemble de recommandations concrètes pour le XXIe siècle. Son esprit repose en particulier sur une nouvelle conception de la notion de **développement durable**. La définition du rapport Brundtland (1987), centrée sur l'environnement et l'exploitation des ressources naturelles, a été élargie à l'économie, à la santé, aux droits humains pour souligner l'interdépendance de tous ces facteurs. Par l'introduction des **trois piliers** que sont le progrès économique, la justice sociale et la préservation de l'environnement, le Sommet de Rio a fait du développement durable un paradigme sur lequel la **Convention internationale sur la Diversité Biologique** (CDB) a été élaborée.

Convention sur la Diversité Biologique (CDB)

Cette convention a pour objectif de développer des stratégies nationales pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Elle prévoit que chacune des parties contractantes adopte des dispositions visant notamment à :

- encourager la recherche scientifique dans ce domaine en vue d'identifier les éléments constitutifs de la biodiversité afin de travailler aux méthodes de conservation et à l'utilisation durable des ressources biologiques,
- éduquer et à sensibiliser le public par les médias,
- faire prendre en compte ces questions dans les programmes d'enseignement.

L'application des mesures prises dans le cadre de cette convention est suivie par la Conférence des Parties (plus de 150 états ont signé la convention), d'un secrétariat, d'un organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques et techniques.

Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est, dite OSPAR, 1992[2]

La commission de la Convention OSPAR publie notamment des objectifs de qualité écologique, une liste des espèces et des habitats menacés et/ou en déclin. Elle a établi un réseau OSPAR des zones marines protégées. L'Annexe V de la convention porte sur « la protection et la conservation des écosystèmes et de la diversité biologique de la zone maritime » (dite annexe biodiversité). Adoptée par les ministres à Sintra en 1998, elle est entrée en vigueur en 2000.

Convention de Barcelone sur la protection de la Méditerranée et son protocole, 2004

La convention de Barcelone (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation), qui vise à réduire la pollution de la mer Méditerranée, traite à l'article 10 de

1. Entrée en vigueur le 29 décembre 1993.
2. Entrée en vigueur le 25 mars 1998.

biodiversité : « *Les parties contractantes prennent, individuellement ou conjointement toutes les mesures appropriées pour protéger et préserver dans la zone d'application de la Convention, la diversité biologique, les écosystèmes rares ou fragiles ainsi que les espèces de la faune et de la flore sauvage qui sont rares, en régression, menacées ou en voie d'extinction et leurs habitats* ».

3.2 Sur le plan européen

La volonté de préserver la biodiversité est présente dans plusieurs textes européens.

La Directive « Oiseaux »

La directive européenne 2009/147/CE du 30 novembre 2009 (ex n° 79/409/CEE du 2 avril 1979)[1] relative à la conservation des oiseaux sauvages, appelée « Directive oiseaux » établit un système de protection de toutes les espèces d'oiseaux vivant à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres. Elle prévoit pour cela la création de Zones de Protection Spéciale (ZPS) définies à partir d'un inventaire des Zones d'Importance Communautaire pour les Oiseaux (ZICO). Les ZPS sont les « noyaux durs » des ZICO.

La Directive « Habitats »

La directive européenne n° 92/43/CEE du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats ainsi que la faune et la flore sauvages, appelée « Directive Habitats »[2] a pour objet d'assurer le maintien de la diversité biologique par la conservation des habitats naturels, ainsi que de la faune et de la flore sauvages. La création des Zones Spéciales de Conservation (ZSC) engage les États membres à mettre en œuvre des plans de gestion appropriés spécifiques aux zones considérées. Les actions prises dans ce cadre sont financées par le programme européen LIFE (Instrument Financier pour l'Environnement). En France, le ministère chargé de l'environnement, les DREAL (ex DRIRE et DIREN) interviennent comme relais pour la promotion de ce programme de financement au niveau français.

La directive prévoit notamment la mise sur pied d'un réseau de zones protégées baptisé « Réseau Natura 2000 ». Ce réseau est l'une des principales actions de l'Union européenne en faveur de la préservation de la biodiversité, il comporte plus de 25 000 sites. Depuis 2008, le réseau de sites terrestres a été complété par un ensemble de sites marins (démarche « Natura 2000 » en mer).

Tout plan ou projet « *susceptible d'affecter* » un site « Natura 2000 » « *de manière significative* » doit faire l'objet « *d'une évaluation appropriée de ses incidences sur le site eu égard aux objectifs de conservation de ce site* » (art. 6 de la directive). Cette disposition a une grande importance pour les centrales nucléaires, en particulier (*cf.* 3.3).

Directive Cadre sur l'Eau « DCE »

La directive européenne n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau fixe l'objectif ambitieux d'atteindre en 2015 le « bon état »[3] de l'ensemble des eaux, et prévoit de mettre en place une sauvegarde des zones protégées (baignade, zones de captage d'eau potable, zones « Natura 2000 », …). Cette directive donne à la « qualité biologique » un poids déterminant dans la définition du « bon état » des eaux (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).

Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin « DCSMM»

La directive européenne n° 2008/56/CE du 17 juin 2008 établit un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin »). Elle décline les mêmes principes que la Directive Cadre sur l'Eau pour les eaux marines et vise à prévenir le déclin de la biodiversité marine. Les articles 166 et 168 (codifiés au code de l'environnement sous les articles L. 219-1 et suivants) de la loi Grenelle II transpose en droit français cette directive et crée une stratégie nationale pour la mer et le littoral (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).



Stratégie européenne pour la biodiversité

La Commission européenne a établi en 2011 sa nouvelle Stratégie Biodiversité pour 2020. Elle vise à mettre en œuvre le plan stratégique international adopté au sommet sur la biodiversité organisé en octobre 2010 par l'ONU à Nagoya (Japon), pour répondre au défi de la perte de la biodiversité d'ici à 2020.

1. Abrogée par la directive 2009/147/CE du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages (version codifiée) qui vient s'y substituer.
2. Entrée en vigueur en 1994.
3. Le « bon état » est défini sur la base de la qualité chimique et de la qualité biologique des eaux.



Réseau « Natura 2000 »

La constitution du réseau « Natura 2000 » a pour objectif de maintenir la diversité biologique des milieux, tout en tenant compte des exigences économiques, sociales, culturelles et régionales.
Le classement du territoire national en sites « Natura 2000 » est du ressort de chaque État membre de la Communauté européenne (*cf.* §3.3)[1]. En vertu de la directive « Habitats », chaque État membre propose une liste de sites indiquant les types d'habitats et les espèces indigènes remarquables, rares et en danger qu'ils abritent (pSIC). À partir de ces informations, la Commission européenne sélectionne, en accord avec les États membres, les Sites d'Importance Communautaire (SIC) appelés à devenir les Zones Spéciale de Conservation (ZSC). Ces sites avec les Zones de Protection Spéciale (ZPS) classées par les États membres au titre de la Directive « Oiseaux » constituent le réseau « Natura 2000 » (*cf.* fig. 1).
En 2012, le réseau français terrestre comptait plus de 1 700 sites « Natura 2000 » couvrant 12,5 % du territoire métropolitain (*cf.* fig. 2). Ce réseau a été étendu au domaine marin (« Natura 2000 » en mer), est financé par le fonds de gestion des milieux naturels (FGMN).

Fig. 1 ➜ Constitution du réseau « Natura 2000 »

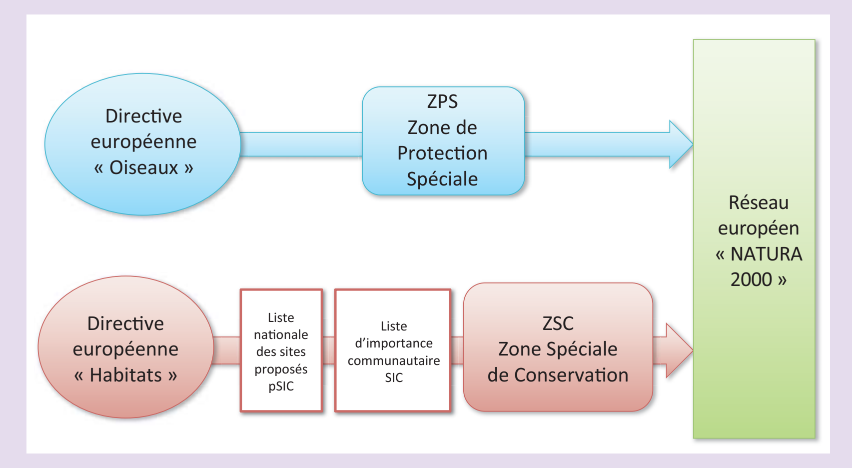
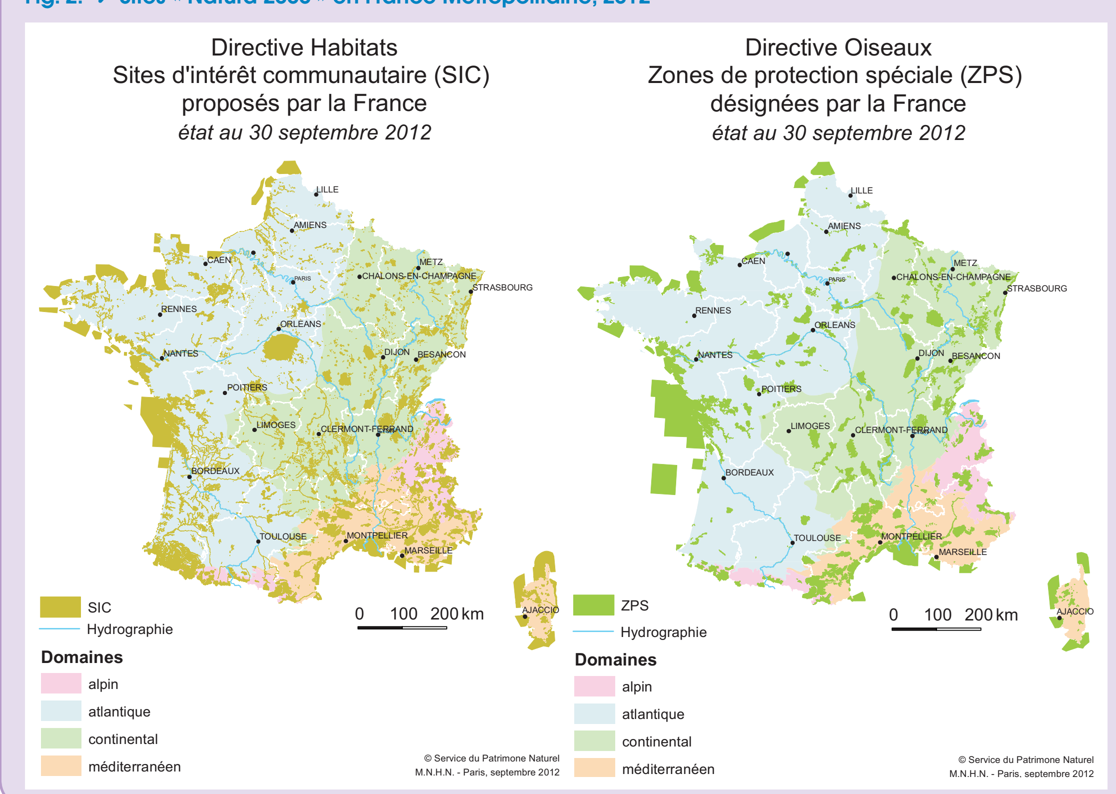




Fig. 2. ➜ Sites « Natura 2000 » en France Métropolitaine, 2012



1. À noter que dans des cas exceptionnels, la Commission européenne peut proposer le classement de sites d'importance communautaire dans le cadre d'une procédure de concertation bilatérale avec l'État membre concerné (art. 5 de la directive 92/43/CEE).

3.3 Sur le plan national

La volonté politique de préserver la biodiversité est apparue en France dès les années 1970 avec la **loi du 10 juillet 1976** relative à la protection de la Nature. Cette prise de conscience s'est traduite ensuite par :

- l'intégration en droit français des dispositions internationales et communautaires sur la protection des écosystèmes,
- l'adoption, en 2004, d'une Charte de l'environnement, adossée à la Constitution, posant le principe de l'obligation de réparer les dommages causés à l'environnement,
- l'adoption, en 2004, d'une **Stratégie Nationale pour la Biodiversité**,
- l'implication du monde scientifique au moyen de conférences internationales sur la biodiversité (Conférence internationale sur la biodiversité à Paris en 2005 organisée à l'initiative du président de la République, …),
- l'organisation, en 2007, d'un grand débat sur l'environnement (« Grenelle de l'environnement ») où il a été largement question des menaces sur la biodiversité,
- l'adoption des lois dites « Grenelle I » (n° 2009-967 du 3 août 2009) et « Grenelle II » (n° 2010-788 du 12 juillet 2010) portant notamment sur la préservation de la biodiversité.

Cette loi, codifiée dans le code de l'environnement (art. L122-1 à L122-3), qualifie d'intérêt général la protection des espaces naturels et des paysages, la préservation des espèces végétales et animales, le maintien des équilibres biologiques et la protection des ressources naturelles. Elle introduit l'obligation de l'**étude d'impact** pour la plupart des projets d'aménagement. Elle crée le statut d'**espèce protégée** (*cf.* encart) et prévoit un dispositif répressif pour des infractions relatives aux atteintes portées à certaines espèces et à leur milieu.

Ordonnance du 11 avril 2001[1] « Natura 2000 »

Cette ordonnance donne une existence juridique aux sites « Natura 2000 ». Elle organise la concertation nécessaire à l'élaboration des orientations de gestion de chaque site et instaure un régime d'évaluation des projets industriels ou autres dont la réalisation est susceptible d'affecter de façon notable un site « Natura 2000 ». Les dispositions réglementaires relatives au réseau « Natura 2000 » figurent désormais essentiellement dans le Code de l'environnement (L. 414-1 et suivants) (*cf.* annexe 3.2).

Espèces protégées

(Code de l'environnement : art. L. 411-1 et L. 411-2 ; Loi Grenelle I art. 23 et Grenelle II art. 129)

Les espèces protégées font l'objet de listes établies par arrêtés ministériels, après avis du Conseil National de Protection de la Nature (CNPN). Ces listes incluent les espèces animales et végétales listées à l'annexe 4 de la directive « Habitat », présentant un intérêt communautaire et nécessitant une protection stricte de la part des États membres.

Elles sont établies par catégories (mammifères, oiseaux, reptiles, mollusques, insectes, poissons…) et peuvent être complétées au niveau régional et départemental pour tenir compte des particularités locales. Dans ce cas, elles sont issues d'arrêtés préfectoraux. Renforcé par la loi Grenelle II, ce dispositif de protection interdit de porter atteinte à ces espèces et à leur habitat. Des dérogations sont possibles dans certains cas ; elles sont alors généralement accompagnées de mesures compensatoires à mettre en œuvre afin d'amoindrir le préjudice causé.

Ces dispositions concernent les centrales nucléaires. En particulier, les procédures de demande d'autorisation de création (construction, chantier, …) ou de modification (révision des rejets…) doivent comporter une étude des incidences sur les espèces protégées (*cf.* annexe 2).

Deux espèces protégées en France métropolitaine.



Loutre



Sterne naine

1. Ordonnance n° 2001-321 du 11 avril 2001 relative à la transposition de directives européennes et à la mise en œuvre de certaines dispositions du droit communautaire dans le domaine de l'environnement.





Stratégie nationale pour la biodiversité (SNB), 2004[1]

La mise en œuvre de la Convention sur la Diversité Biologique est assurée par le ministère chargé de l'environnement au moyen de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité. Cette stratégie nationale vise à :

- conserver la diversité du vivant (gènes, espèces, habitats),
- maintenir et développer la « trame écologique » (continuité et surface des milieux peu artificialisés),
- promouvoir le bon fonctionnement des écosystèmes.

Pour atteindre ces objectifs, la stratégie a défini un plan d'action visant notamment à :

- mobiliser tous les acteurs, chacun à son niveau de responsabilité,
- reconnaître les valeurs de la diversité biologique et les services qu'elle nous rend afin d'adopter des politiques et des comportements responsables au regard de la conservation de la biodiversité,
- intégrer la conservation de la biodiversité dans l'ensemble des politiques publiques nationales, par la mise en œuvre des plans d'action sectoriels dans les domaines d'activité et d'action publique ayant le plus fort impact sur la biodiversité,
- accroître la connaissance scientifique et mettre au point une information publique fiable et transparente, afin d'améliorer l'efficacité de nos actions et d'évaluer ensemble les évolutions de la biodiversité.

Lois issues du Grenelle de l'environnement, 2009, 2010

Le « Grenelle de l'environnement » est une consultation nationale organisée en 2007 afin de refonder la politique nationale de l'écologie et de rendre compatible la croissance avec un monde dont les ressources ne sont pas infinies. Cette consultation a débouché sur des engagements en faveur de la préservation de la biodiversité et des ressources naturelles.

Le document de synthèse rédigé à cette occasion liste notamment les mesures portant sur :

- l'élaboration d'une **Trame Verte et Bleue** (TVB) assurant respectivement la continuité entre milieux terrestres et aquatiques afin de permettre aux espèces de circuler et aux écosystèmes de fonctionner[2]. Un Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) est élaboré conjointement par la Région et l'État en association avec le comité régional TVB,
- une Stratégie nationale de Création d'Aires Protégées terrestres métropolitaines (SCAP) fondée sur un diagnostic du réseau actuel et sur l'identification de projets de création, avec pour objectif de placer au moins 2 % du territoire sous protection forte d'ici 10 ans,
- l'atteinte du **« bon état » des eaux d'ici 2015** en réduisant fortement toutes les pollutions diffuses (phytosanitaires, nitrates, PCB, métaux lourds…),
- l'effacement, sur les cours d'eau, des obstacles les plus gênants à la migration des poissons, en relation avec la trame bleue,
- la protection de la mer et du littoral (liée à la trame bleue),
- le plan de conservation et de restauration pour la centaine d'espèces les plus menacées de France (extension du réseau « Natura 2000 », généralisation des DOCuments d'OBjectifs « DOCOB »…),
- le remplacement du système d'information sur la nature et les paysages par un observatoire de la biodiversité produisant des indicateurs et des bilans nationaux,
- le développement des sciences de l'écologie, leur enseignement et la formation des experts en ingénierie écologique,
- l'initiative française en faveur de la création d'un mécanisme international d'expertise scientifique sur la biodiversité, équivalent au GIEC pour le climat.

Ces engagements ont fait l'objet de deux lois ; la loi dite Grenelle I du 3 août 2009 et la loi dite Grenelle II du 12 juillet 2010.

Dispositions relatives aux espaces protégés

En France, un réseau d'espaces protégés a été mis en place afin de préserver la diversité biologique sur le territoire terrestre et marin. Chaque espace ainsi créé obéit à des objectifs, des contraintes et des modes de gestion spécifiques. Les centrales nucléaires situées dans ces espaces ou à proximité de ceux-ci sont concernées par ces mesures de protection (*cf.* encart).

1. Modifiée en 2011.
2. Article L. 371-1 à L. 371-6 du Code de l'environnement.

Espaces protégés

(Code de l'environnement, Code forestier, Code de l'urbanisme)

,Une partie du territoire national fait l'objet d'un classement en espaces protégés en fonction de la valeur attribuée aux habitats naturels et aux espèces. Un même espace (site) peut être concerné par plusieurs mesures de protection, plus ou moins contraignantes, regroupées en trois grandes catégories.

Protection par la contrainte d'usages ou d'activités

Ces mesures de protection instaurent des limitations ou des interdictions d'usages ou d'activités. Les espaces associés à ces mesures sont notamment :

- les parcs nationaux et aires marines protégées,
- les réserves naturelles,
- les réserves biologiques forestières.

Par ailleurs, les Arrêtés Préfectoraux de Protection du Biotope (APPB) permettent aux préfets de département de fixer des mesures pour la préservation des habitats dont dépend la survie des espèces protégées.

Protection par la maîtrise foncière (acquisition de terrains pour la gestion et la réhabilitation de sites naturels)

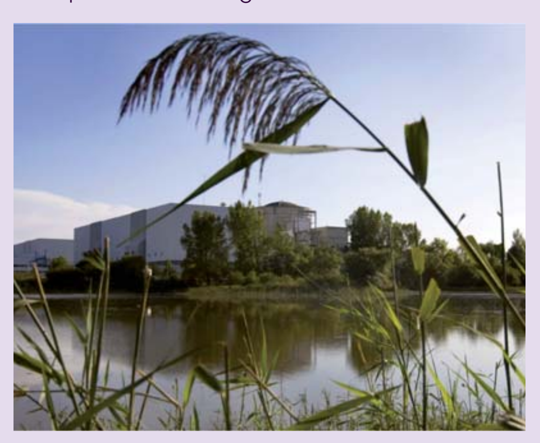
Ces mesures tendent à protéger des espaces naturels sensibles par la maîtrise foncière. Il s'agit en particulier :

- des sites du conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres,
- des sites des conservatoires régionaux d'espaces naturels,
- les zones humides (terrains inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre).

Protection par la gestion contractuelle

Cette catégorie regroupe les espaces concernés par des mesures de gestion et soumis à des obligations de résultats dans un cadre contractuel. On y trouve principalement :

- les sites « **Natura 2000** » en France,
- les parcs naturels régionaux.



La réserve naturelle de la centrale nucléaire du Blayais.

À cela, il convient de citer les **Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)**, espaces qui ne sont assujettis à aucune mesure de protection mais qui sont identifiées comme présentant une « valeur écologique » particulière pour la conservation de la biodiversité.

4. Mobilisation des entreprises pour la biodiversité

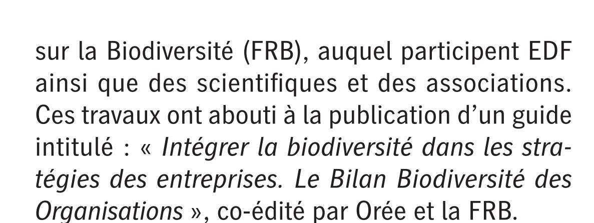
4.1 Mobilisation des entreprises

Jusqu'en 2005, année de la Conférence internationale de Paris sur la biodiversité, il était fréquent d'entendre que la biodiversité était un sujet trop éloigné de leur domaine d'activité pour que les entreprises s'en mêlent autrement que par quelques actions de mécénat.

Les travaux de l'ONU relatifs à l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire ont agi comme un révélateur et ont permis la prise de conscience des enjeux liés au monde du vivant. Sachant que la dégradation des services écologiques pourrait s'avérer très coûteuse, la conciliation des activités économiques et de la biodiversité est un impératif qui nécessite la mobilisation les entreprises.

Pour réfléchir et agir de façon concertée sur ces questions, des entreprises se réunissent, en France, au sein d'un groupe de travail initié par l'association Orée[1] et la Fondation pour la Recherche

1. Créée en 1992, l'association ***Orée*** rassemble entreprises, collectivités territoriales, et associations pour développer une réflexion commune et mettre en œuvre des solutions concrètes pour une gestion intégrée de l'environnement à l'échelle des territoires.



sur la Biodiversité (FRB), auquel participent EDF ainsi que des scientifiques et des associations. Ces travaux ont abouti à la publication d'un guide intitulé : « *Intégrer la biodiversité dans les stratégies des entreprises. Le Bilan Biodiversité des Organisations* », co-édité par Orée et la FRB.

4.2 Incitation réglementaire en France

La responsabilité des entreprises sur le plan social et environnemental est définie dans trois textes de lois.

Loi dite Barnier, 1995

La loi n° 95-101 du 2 février 1995 a introduit la notion de préjudice environnemental susceptible d'appeler réparation. Les réparations peuvent être sollicitées par les particuliers riverains ou voisins, les associations de protection de la nature et les collectivités territoriales.

Loi sur les nouvelles régulations économiques (NRE), 2001

La loi n° 2001-420 du 15 mai 2001 relative aux nouvelles régulations économiques, prévoit à l'article 116 que les entreprises cotées en Bourse, comme EDF, doivent fournir dans leur rapport annuel, des « *informations sur la manière dont l'entreprise prend en compte les conséquences sociales et environnementales de ses activités* », et en particulier :

- *les mesures prises pour limiter les atteintes à l'équilibre biologique, aux milieux naturels, aux espèces* ;
- les démarches internes pour mieux former et *informer les salariés sur l'environnement*, pour réduire les risques ou promouvoir le recours aux énergies renouvelables.

Les entreprises devront également *faire figurer au rapport annuel des informations sur la manière dont elles prennent en compte l'impact territorial de leurs activités*.

Loi sur la responsabilité environnementale (LRE), 2008

La loi n° 2008-757 du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale et de diverses dispositions d'adaptation en droit communautaire dans le domaine de l'environnement est une transposition en droit français d'une directive européenne de 2004[1]. Elle définit « les conditions dans lesquelles sont prévenus ou réparés, en application du principe *pollueur-payeur*, les dommages causés à l'environnement par l'activité d'un exploitant». Son champ d'application concerne les dommages « graves » aux habitats naturels, à la faune et à la flore mais aussi ceux affectant « les services écologiques ».

5. Biodiversité : EDF et les centrales nucléaires

Contribuer à protéger le patrimoine naturel et à préserver la biodiversité est un enjeu majeur pour l'avenir de la planète. Compte tenu de ses activités, EDF est consciente de ses responsabilités et du rôle qu'elle peut jouer au regard de cet enjeu qui a donné lieu à l'élaboration du guide *Biodiversité Nucléaire,* en 2013.

Dans sa politique « biodiversité » élaborée en 2006, EDF s'est fixée trois orientations pour ses actions, conduites en partenariat avec le monde scientifique (IRSTEA ex-CEMAGREF, IFREMER, IRSN, ONEMA, universités...) et le milieu associatif (fondation Nicolas Hulot, Ligue de protection des oiseaux, associations locales, ...).

Pour ce qui concerne les centrales nucléaires, ces orientations sont déclinées de la façon suivante :
La **première orientation** porte sur la bonne connaissance des écosystèmes qui est fournie principalement par :

- le suivi de la faune et de la flore par les mesures réalisées sur le long terme dans le cadre du programme de surveillance de l'environnement (*cf.* chapitre 9 sur la surveillance de l'environnement),
- les études de terrain issues des campagnes de mesures de radioécologie et d'hydroécologie (*cf.* chapitres 8 et 9 du guide),
- le suivi des poissons migrateurs afin de vérifier l'efficacité des passes-à-poissons et de constater un retour progressif des grands migrateurs comme le saumon,
- les études sur les écosystèmes réalisées, notamment, pour les dossiers de demande d'autorisation,
- la création d'un comité spécialement chargé d'étudier la biodiversité (Groupe Thématique sur l'Environnement GTE « Biodiversité ») et des comités scientifiques tels que celui d'hydroécologie qui publie la revue

1. Directive n° 2004/35/CE du parlement européen du 21 avril 2004 sur la responsabilité environnementale en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux.

« Hydroécologie appliquée » consultable sur Internet *(www.hydroecologie.org)* et la cellule de radioécologie.



Dauphins devant la digue de la centrale de Flamanville (Photo Groupe d' étude des Cétacés du Cotentin).

Quelques exemples d'actions pour la biodiversité dans les centrales

Un site protégé autour de la centrale de Chooz (Ardennes)

Le site de la centrale de Chooz, couvrant 200 hectares en bord de Meuse, abrite une faune et une flore qui fait l'objet d'observations et de soins attentifs. En partenariat avec une association locale de protection de la faune et de la flore, des naturalistes interviennent régulièrement afin de valoriser les écosystèmes (défrichage, déboisement, bagage d'oiseaux…). Ce site protégé, baptisé « symbiose », est ouvert au public. Un parcours-découverte lui permet d'observer des loutres, qui avaient disparu depuis des décennies, ainsi que des castors, des fauvettes et plus de 90 espèces d'oiseaux.

Aménagement des marais sur l'île de Fessenheim (Haut-Rhin)

L'île de Fessenheim est un espace au milieu du Rhin dont EDF possède la plus grande partie. Cette île a été utilisée pendant l'exploitation des mines de potasse pour y stocker, dans des bassins, les surplus de sel. Après l'arrêt des activités minières, EDF a entrepris, à partir des années 1990, des actions de réhabilitation des sols et des anciens bassins industriels. L'objectif est d'y créer un marais où la Nature pourra reprendre ses droits en permettant aux espèces animales et végétales de s'y développer.

Plantation de peupliers noirs à Belleville sur Loire (Cher)

Le peuplier noir sauvage est l'essence dominante des forêts des bords de Loire. Il possède un système racinaire très développé qui lui permet d'absorber les excès de nitrates et phosphates des nappes alluviales, participant ainsi à l'amélioration de la qualité des eaux. La construction d'une digue dans une zone « Natura 2000 », afin de renforcer la protection de la centrale de Belleville contre les inondations, a conduit EDF à compenser l'incidence de cet aménagement en contribuant à la plantation de peupliers noirs sur un terrain de sa propriété. Cette action, coordonnée au niveau national par l'INRA, s'inscrit dans le programme européen de conservation des ressources génétiques. La plantation est représentative de la diversité génétique du peuplier noir.



Centrale nucléaire de Belleville : Les peupliers noirs (INRA/M. Villar).

Suivi scientifique de la Prée à Nogent-sur Seine (Aube)

La centrale de Nogent participe avec l'association « Nature du Nogentais » au suivi scientifique d'une zone ZNIEFF de 38 ha, dénommée : « La Prée ».

Lutte contre les espèces invasives à Civaux (Vienne)

Les espèces invasives d'origine « exotique » colonisent les écosystèmes au détriment des espèces autochtones. La jussie est une plante qui envahit les cours d'eau, en particulier les zones à faible débit et fortement ensoleillées comme la Vienne. La centrale de Civaux participe aux campagnes d'arrachage organisées par le syndicat mixte du Montmorillonnais.

Réserve naturelle de la centrale nucléaire du Blayais (Gironde)

Aménagé sur une ancienne friche industrielle, cet espace, appartenant à EDF, a été rendu à la nature et accueille notamment de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs.

Parcours environnement à Cattenom (Moselle)

Un parcours « environnement » a été mis en place autour de la centrale nucléaire de Cattenom et de la retenue du Mirgenbach. Des panneaux d'information à destination du personnel, du grand public et des scolaires ont été installés afin d'informer sur la richesse biologique du site et de sensibiliser aux enjeux de la biodiversité.

La **deuxième orientation** concerne notamment les actions visant à réduire les impacts des ouvrages sur l'environnement et à préserver les espèces protégées.

Ces actions sont prises dès l'origine d'un projet de construction d'une centrale nouvelle. Dans ce cas, le choix du site est un élément capital. L'emplacement retenu et l'aménagement du site doivent intégrer les obligations réglementaires liées à la protection de la nature en s'appuyant notamment sur la bonne connaissance des écosystèmes concernés et de leur sensibilité. Ces éléments déterminent le choix entre les options techniques possibles, en particulier le type de refroidissement « ouvert » ou « fermé » des installations. Les ouvrages de prises d'eau et de rejet ainsi que les équipements de collecte et de traitement des effluents sont alors étudiés de sorte à réduire au maximum les impacts prévisibles de la centrale sur son environnement.

Lorsque les centrales sont en exploitation, les actions en faveur de l'environnement sont poursuivies :

- en optimisant les traitements afin de diminuer autant que possible les rejets de substances radioactives et chimiques (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts),
- en intégrant dans l'exploitation de la centrale nucléaire, un mode de gestion respectueux de l'environnement. Toutes les centrales nucléaires d'EDF ont obtenu la certification ISO 14001 reconnaissant la capacité de l'entreprise à agir efficacement en faveur de l'environnement et la pertinence de son Système de Management de l'Environnement (SME),
- par la mise en place de dispositifs permettant d'éviter la collision des oiseaux avec les lignes électriques (dispositifs dissuasifs et répulsifs…),
- en préservant la biodiversité dans les espaces naturels (*cf.* encart),
- en contribuant à la création de réserves naturelles et au financement de leurs activités.

La **troisième orientation** cherche à sensibiliser et à former le personnel à ces questions ainsi qu'à initier le grand public à la biodiversité en partenariat avec les associations. Dans ce cadre, la fondation EDF « Diversiterre » s'engage pour la protection de la nature et de la biodiversité en signant, en 2008, des partenariats avec de grandes associations engagées dans la sauvegarde de la nature et des paysages ainsi que dans la préservation de la biodiversité et des écosystèmes.

Bibliographie

- ONU, évaluation des écosystèmes pour le millénaire, 2005.
- EDF, C. Nahon, Politique Biodiversité d'EDF SA, 22 mai 2006.
- EDF, Guide « notre démarche biodiversité », 2011.
- EDF, Guide *Biodiversité Nucléaire*, 2013.

Pour en savoir plus

- http://www.edf.fr/fichiers/fckeditor/File/Groupe/EDF_PolBiodiv2005_vf.pdf (politique biodiversité à EDF)
- http://www.edf.com/html/fete-nature/biodiversite.html (Nature et biodiversité)
- http://developpement-durable.edf.com/accueil-com-fr/(développement durable)
- http://www.ecologie.gouv.fr/-Strategie-nationale-pour-la-.html(Stratégie nationale biodiversité)
- http://natura2000.environnement.gouv.fr/habitats/cahiers1.html (Natura 2000)
- http://www.oree.org/economie-biodiversite.html(OREE)
- http://www.developpement-durable.gouv.fr/Grenelle-2-preservation-de-la.htm
- http://www.fondationbiodiversite.fr/
- http://inpn.mnhn.fr



Annexe 3.1

Centrales nucléaires d'EDF et les services écologiques

Pour produire de l'électricité, une centrale nucléaire utilise des espaces naturels terrestres et aquatiques. L'exploitant d'une centrale nucléaire doit, de ce fait, se conformer aux objectifs de préservation des habitats naturels et de la biodiversité dans un cadre réglementaire de plus en plus exigeant.

La dépendance d'une centrale nucléaire aux services écologiques (*cf.* encart §2) peut être exprimée selon quatre modalités (*cf.* fig. A3.1).

L'usage des services écologiques

Les usages de la nature (services écologiques) concernent la possibilité d'occuper les espaces nécessaires aux bâtiments, de prélever de l'eau pour assurer le refroidissement et l'alimentation des installations et de rejeter dans l'environnement des effluents résultant du fonctionnement de la centrale nucléaire.

La production d'électricité par la centrale nucléaire dépend entièrement de l'autorisation accordée par la puissance publique de bénéficier de ces usages, donc de l'acceptabilité sociale.

Les pressions exercées par le fonctionnement de la centrale nucléaire sur les services écologiques

Tous les usages de la nature génèrent des impacts susceptibles de dégrader des services écologiques et l'exploitant est tenu par la réglementation de prendre des mesures destinées à éviter, à réduire autant que possible ou à compenser ces impacts et doit payer des taxes ou redevances pour pollutions. Au cours des dernières décennies, le coût engendré par les aspects environnementaux tend à augmenter, mais il paraît proportionné à l'usage de la nature et des services écologiques associés dont dépend en totalité la capacité de production de la centrale. Il s'agit de payer, au juste prix, un droit d'usage de la nature.

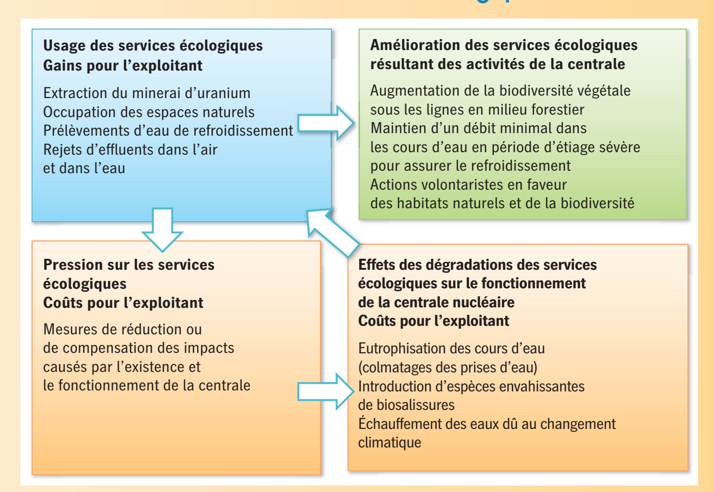
L'amélioration des services écologiques du fait des activités

Si différents usages de la nature produisent des impacts sur les milieux et les espèces, certaines activités liées au fonctionnement d'une centrale nucléaire contribuent à l'amélioration des services écologiques. Il s'agit notamment du soutien des débits des cours d'eau en période d'étiage grâce aux grands réservoirs créés en amont. Au-delà du simple respect de la réglementation, l'exploitant agit en faveur de l'environnement en s'associant aux programmes de recherche publique, en développant des procédés innovants, en sensibilisant et en formant leur personnel sur ce thème. L'exploitant peut adopter une attitude en faveur de la protection des habitats naturels et de la biodiversité en développant des actions dans le cadre de la politique biodiversité de l'entreprise.

Les dommages subis du fait de la dégradation des services écologiques

Différents types de dégradation des services écologiques influencent le fonctionnement de la centrale nucléaire. Leur origine réside en partie dans les impacts résiduels des ouvrages de production d'EDF, mais pour l'essentiel ils sont générés par d'autres causes. Le changement climatique aura des conséquences très importantes pour toutes les entreprises du secteur de l'énergie depuis la production jusqu'à la structure de la consommation. L'eutrophisation des eaux continentales et marines et l'introduction d'espèces exotiques envahissantes nécessite un traitement des eaux plus poussé et le recours à des traitements contre le développement des salissures biologiques dans les circuits de refroidissement.

Fig. A3.1 → Rapports de dépendance d'une centrale nucléaire aux services écologiques



Annexe 3.2

Évaluation des incidences d’une centrale nucléaire sur les sites « Natura 2000 »



Activités concernées

La réglementation française, qui a été profondément modifiée par le décret du 9 avril 2010 (cf. §2). Celui-ci exige que tout programme ou projet figurant sur la liste nationale ou sur les listes locales établies par ce texte fasse l’objet d’une **évaluation des incidences**, que le territoire qu’il couvre ou que leur localisation géographique soit ou non dans le périmètre d’un site « Natura 2000 », le critère étant le fait « d’être susceptible d’affecter de manière significative un site « Natura 2000 » (article L. 414-4 du Code de l’environnement).

Cela concerne les centrales nucléaires et, en particulier, les activités suivantes :

- construction d’installations nouvelles,
- modification des rejets et des prélèvements d’eau,
- opération de maintenance pouvant produire des effluents rejetés (lessivage chimique des générateurs de vapeur, des condenseurs, modification de la nature du combustible nucléaire…).

Les dossiers de demande d’autorisation, de déclaration ou d’approbation doivent être accompagnés d’une évaluation des incidences suivant les règles définies par le décret de 2010, tel que codifié au Code de l’environnement.

Cadre réglementaire

La réglementation française a transposé les directives européennes « Habitat » et « Oiseaux ». Elle est transcrite dans le **Code de l’environnement** (*cf.* chapitre 5 du guide annexe 5.3).

- **L’ordonnance « Natura 2000 » du 11 avril 2001**[1] donne une existence juridique aux sites « Natura 2000 » :
  - L. 414-1 : Constitution du réseau « Natura 2000 » (principes généraux et définitions)
  - L. 414-2 : Définition des DOCuments d’OBjectifs (DOCOB),
  - L. 414-3 : Contrats Natura 2000,
  - L. 414-4 et L. 414-5 : Travaux et autorisations dans les sites « Natura 2000 ».
- **Le décret n° 2010-365 du 9 avril 2010** relatif à l’évaluation des incidences « Natura 2000 » a apporté des modifications en matière d’évaluation des incidences « Natura 2000 » :
  - R. 414-19 : **Liste nationale** des documents de planification, programmes ou projets devant faire l’objet d’une **évaluation des incidences**,
  - R. 414-20 : Listes locales complétant la liste nationale,
  - R. 414-23 : **Dossier d’évaluation des incidences** « Natura 2000 » accompagnant la demande d’autorisation ou approbation ou de déclaration,
  - R. 414-24 à 26 : Procédure d’instruction par l’autorité administrative,
  - R. 414-25 : Avis préalable de la **Commission européenne** en cas d’effet significatif sur un ou plusieurs sites « Natura 2000 ».
- **Le décret n° 2001-1031 du 8 novembre 2001** relatif à la procédure de désignation des sites « Natura 2000 » et **le décret n° 2001-1216 du 20 décembre 2001** relatif à la gestion des sites « Natura 2000 » sont désormais transcrits dans le Code de l’environnement, - et non plus dans le Code rural - aux articles suivants :
  - R. 414-1 à 2 : Modalités de constitution des listes d’habitats naturels et espèces au titre des deux directives européennes,
  - R. 414-3 à 7 : Procédure de désignation des sites « Natura 2000 »,
  - R. 414-8 à 11 : DOCuments d’OBjectifs (DOCOB),
  - R. 414-12 à 18 : Contrats « Natura 2000 »,
  - R. 414-19 à 26 : Régime d’évaluation des incidences des projets soumis à approbation.
- **Le décret n° 2011-966 du 16 août 2011** relatif au régime d’autorisation administrative propre à « Natura 2000 » :
  - R.414-27 à 29 : Régime d’autorisation.

1. Ordonnance n° 2001-321 du 11 avril 2001 relative à la transposition de directives européennes et à la mise en œuvre de certaines dispositions du droit communautaire dans le domaine de l’environnement.

DOCument d'OBjectifs (DOCOB)

Le DOCOB comprend un rapport de présentation décrivant notamment l'état de conservation et les exigences écologiques des habitats naturels et des espèces qui justifient la désignation du site « Natura 2000 », les objectifs de développement durable du site permettant d'assurer la conservation et, s'il y a lieu, la restauration des habitats naturel et des espèces qui justifient la désignation du site, en tenant compte des activités économiques, sociales, culturelles et de défense qui s'y exercent ainsi que les particularités locales.

Le DOCOB est établi site par site, sous la responsabilité du préfet de département, en faisant une large place à la concertation locale. Les acteurs du territoire (élus, socioprofessionnels, usagers, associations, administrations...) travaillent en comité de pilotage et en groupes thématiques.

Le comité de pilotage suit la mise en œuvre du DOCOB. Le préfet soumet au moins tous les trois mois au comité de pilotage « Natura 2000 », un rapport sur la mise en œuvre du document d'objectifs. Il est procédé à la révision du DOCOB lorsqu'il apparaît que les objectifs qui on présidé à la désignation du site n'ont pas été atteints ou ne sont pas susceptibles de l'être, en tenant compte de l'évolution des activités humaines sur le site.

Le Fonds de Gestion des Milieux Naturels (FGMN), créé en 1998 par le ministère chargé de l'environnement, finance l'élaboration des documents d'objectifs et la mise en place des actions retenues dans ce cadre (travaux, contrats, études, conventions, publications, documents pédagogiques).

Méthodologie

L'évaluation des incidences Natura 2000 » est réalisée par le porteur du « projet », en l'occurrence l'exploitant de la centrale nucléaire concernée, suivant un guide édité par le ministère chargé de l'environnement.

L'évaluation est proportionnée à l'importance de l'opération et aux enjeux de conservation des habitats et des espèces en présence.

Contenu du dossier d'évaluation des incidences (art. R. 414-23 et R. 414-25 du Code de l'environnement)

Dans tous les cas, le dossier comprend :

- une **présentation simplifiée** du projet accompagnée d'une carte permettant de localiser les espaces terrestre ou marin susceptibles d'être concernés,
- un **exposé sommaire** des raisons pour lesquelles le projet est ou non susceptible d'avoir une incidence sur un ou plusieurs sites « Natura 2000 ».

Le dossier peut se limiter à ces deux points si cette première analyse démontre l'absence d'incidence sur tout site « Natura 2000 ».

Dans le cas contraire, l'évaluation doit être complétée par une analyse des effets temporaires ou permanents, directs ou indirects, que le projet peut avoir sur l'état de conservation des habitats naturels et sur les espèces protégées. Le dossier doit exposer les mesures envisagées pour supprimer ou réduire ces effets dommageables.

Si malgré ces mesures, des effets significatifs dommageables subsistent, le dossier doit présenter les raisons pour lesquelles des solutions alternatives ne sont pas envisageables et les mesures à mettre en œuvre pour **compenser ces dommages (mesures compensatoires)**.

Si l'évaluation conclut à un effet significatif sur un ou plusieurs sites « Natura 2000 », l'avis préalable de la Commission européenne doit être recueilli.

État de conservation

L'état de conservation des **habitats** est considéré comme favorable lorsque :

- l'aire de répartition ainsi que les superficies qu'il couvre au sein de cette aire sont stables ou en extension,
- la structure et les fonctions spécifiques nécessaires à son maintien à long terme existent et sont susceptibles de perdurer dans un avenir prévisible,
- l'état de conservation des espèces qui lui sont typiques est favorable.

L'état de conservation d'une **espèce** est considéré comme favorable lorsque :

- les données relatives à la dynamique de la population de l'espèce en question indiquent que cette espèce continue et est susceptible de continuer à long terme à constituer un élément viable des habitats naturels auxquels elle appartient,
- l'aire de répartition naturelle de l'espèce ne diminue ni ne risque de diminuer dans un avenir prévisible,
- il existe et il continuera probablement d'exister un habitat suffisamment étendu pour que ses populations se maintiennent à long terme.

L'état de conservation favorable a donc une définition juridique, de même que les critères qui permettent de l'apprécier.





4 Information du public

1. Introduction

Le public – qui est sensible aux questions de santé et d'environnement – s'intéresse particulièrement à l'incidence des rejets des centrales nucléaires sur son milieu de vie.

Pour autant, les rejets des centrales nucléaires font rarement parler d'eux dans les médias sauf à l'occasion d'incidents ou de controverses concernant leurs effets possibles sur la santé et l'environnement. Ces situations engendrent alors une avalanche d'interrogations de la part des médias et du public auxquelles l'exploitant, l'administration et les pouvoirs publics doivent faire face dans l'urgence.

Apporter des réponses crédibles dans ces circonstances n'est pas facile ; les sujets à traiter peuvent être complexes. Par ailleurs, pour bien comprendre l'information transmise, le public et les médias ont besoin de posséder un minimum de connaissances sur le fonctionnement des centrales nucléaires, la réglementation et de se familiariser avec un vocabulaire abscons tel que *dose*, *sievert*, *becquerel*…

Pour ces raisons, l'information au public ne peut être improvisée, ni limitée aux seules périodes de crise. Elle doit au contraire être organisée. C'est d'ailleurs l'un des objectifs de la législation en matière de transparence nucléaire qui réaffirme le droit du public à l'information et à la transparence (*cf.* §2.3). Dans ce cadre, l'exploitant est tenu d'apporter régulièrement des informations sur ses activités et ceci dès la phase de conception de la centrale où des données sur les impacts prévisibles des rejets et des prélèvements d'eau doivent être présentées.

Le public est également informé par l'administration, les pouvoirs publics et les commissions locales d'information dont les missions ont été renforcées par la législation (*cf.* 2.3). Pour être crédible, l'information soit s'appuyer sur des faits et des données vérifiables. Le cas échéant, il est nécessaire qu'elle apporte des « éléments de vérité scientifique » pouvant être recherchés, par exemple, auprès d'experts d'horizons différents (expertise pluraliste).

Enfin, la confiance du public dépend de la crédibilité du contrôle exercé par les autorités sur les activités de l'exploitant nucléaire. Pour cela, les autorités veillent notamment à ce que le processus conduisant à réglementer, par des décisions de l'ASN, les prélèvements d'eau et les rejets d'une centrale nucléaire prenne bien en compte l'ensemble des arguments des parties prenantes et du public en particulier (*cf.* chapitre 11 du guide).



Centrale nucléaire de St-Laurent-des-eaux sur la Loire (60 ha).

2. Contexte législatif et réglementaire

2.1 Sur le plan international

En matière d'environnement, les dispositions concernant l'information du public ont été confortées, entre autres, par la **convention d'Aarhus**. Celle-ci vise à :

- développer l'accès du public à l'information détenue par les autorités publiques,
- favoriser la participation du public à la prise de décisions au moment de la procédure de construction d'une installation ou d'un ouvrage, lorsque toutes les options et solutions sont encore possibles et que le public peut exercer une réelle influence,
- étendre les conditions d'accès à la justice en matière de législation environnementale et d'accès à l'information.

La convention d'Aarhus a été adoptée en droit français en 2002 (loi n° 2002-285 du 28 février 2002 puis annexée au décret de publication du 12 septembre 2002).

2.2 Sur le plan européen

La Communauté européenne a adopté en droit communautaire la convention Aarhus au travers de la directive 2003/4/CE concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement et de la directive 2003/35/CE traitant de la participation du public aux procédures environnementales. D'après la directive 2003/4/CE, le délai de transmission des informations au demandeur ne peut excéder un mois après réception de la demande. Si la complexité ou le volume des informations le justifie, ce délai peut être porté à deux mois.

2.3 Sur le plan français

Autorité environnementale

Les législations européenne et nationale (convention d'Aarhus, charte constitutionnelle) prévoient que les évaluations d'impacts environnementaux des grandes opérations soient soumises à l'avis, rendu public, d'une « autorité compétente en matière d'environnement » : **l'autorité environnementale**. L'autorité environnementale a été créée par le décret n° 2009-496 du 30 avril 2009. Elle peut être assurée par le ministre chargé de l'environnement ou, localement et pour son compte, les préfets lorsque le ministre n'est pas lui-même responsable de l'opération au titre de certaines de ses autres attributions (transport, énergie, urbanisme...).

Affirmation du droit à l'information pour tous

La législation[1] instaure un droit d'accès à l'information directement opposable à l'exploitant qui doit fournir à toute personne qui en fait la demande, les informations qu'il détient. De plus, l'exploitant est tenu d'établir, sous peine de sanctions pénales, un **rapport annuel public**[2] dont le contenu est fixé par voie réglementaire (*cf.* §3.1).

Commissions Locales d'information

Les CLI ont été créées par la circulaire dite « Mauroy » du 15 décembre 1981. En 2006, la législation[3] a rendu **obligatoire** leur existence autour de chaque site nucléaire et renforce leurs prérogatives. Composées notamment d'élus, de représentants d'associations de protection de l'environnement, les commissions locales ont une mission de suivi, de concertation et d'information du public vivant à proximité d'un site nucléaire. Elles visent à apporter une réponse pertinente aux questions que se posent les riverains sur ces sujets.

La commission reçoit les informations nécessaires à l'accomplissement de ses missions de l'exploitant, des autorités de contrôle, des autres services de l'état, voire de laboratoires dits indépendants qu'elle a sollicités. Elle est aussi informée, sous huit jours, de toutes les demandes formulées par le public à l'exploitant et reçoit de la même façon les réponses apportées par ce dernier. Elle peut par ailleurs :

- faire réaliser des expertises, y compris des études épidémiologiques et faire procéder à toute mesure d'analyse de l'environnement,
- être consultée par l'ASN et les ministres compétents sur tout projet dans le périmètre de l'INB (cette consultation est obligatoire si le projet est soumis à enquête publique),
- saisir l'ASN ou les ministres compétents pour toute question relevant de son domaine de compétence,
- être saisie par le Comité Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CoDERST),
- être pourvue de la personnalité juridique, avec un statut d'association et être financée, outre les subventions de l' état, par une partie de la taxe sur les INB.

Chaque CLI assure la diffusion de l'information auprès du public visé (mairies, collèges, lycées, associations, médias, partenaires…) en publiant périodiquement des bulletins, en organisant des conférences ou en renseignant son site Internet. Les CLI se sont regroupées en 2000 dans l'Association Nationale des CLI (ANCLI), devenue en 2008 l'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (ANCCLI).

Enquête publique

Le public est informé d'un nouveau projet ou d'une modification notable d'une installation nucléaire de base par l'intermédiaire de l'enquête publique prévue par la réglementation[4]. Cette dernière lui donne la possibilité de formuler des observations qui devront être prises en considération par le responsable du projet.

Afin de veiller au respect de la participation du public au processus d'élaboration des grands projets, dès lors que ces derniers présentent des enjeux socio-économiques et environnementaux significatifs, la Commission nationale du débat public, créée en 1995 par la loi dite « Barnier », a été transformée en autorité administrative indépendante et son champ de compétence a été élargi[5].

1. Articles L. 125-10 à L. 125-40 du Code de l'environnement.
2. Articles L. 125-15 à L. 125-16 du Code de l'environnement.
3. Articles L. 125-17 et L. 125-33 du Code de l'environnement.
4. Décret n° 2011-2018 du 29 décembre 2011 portant réforme de l'enquête publique.
5. Articles L. 121-1 et L. 121-16 du Code de l'environnement.

Mise à disposition du public

La législation[1] et la réglementation[2] prévoient par ailleurs la mise à la disposition du public d'informations, selon les modalités définies par le Code de l'environnement[3], en cas de projet de modification d'une installation nucléaire de base ou de ses conditions d'exploitation soumis à l'accord de l'Autorité de sûreté nucléaire qui, sans constituer une modification notable de l'installation, est susceptible de provoquer un accroissement significatif de ses prélèvements d'eau ou de ses rejets dans l'environnement.

Transparence à l'échelon national

La législation[4] a créé, en 2006, un Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN) qui peut émettre un avis sur toutes les questions relatives à l'information du public et aux risques des activités nucléaires sur la santé des personnes et sur l'environnement.

3. Information du public par l'exploitant

« *Dire au public tout ce qu'il n'aimerait pas apprendre par d'autres que nous* » peut résumer la doctrine d'EDF en matière de transparence.

À la mise en service des premières centrales nucléaires du parc de production d'électricité d'EDF, l'information du public sur les rejets et l'environnement se limitait souvent au contenu des dossiers présentés en enquête publique. Cette information était fragmentée et souvent difficile à comprendre par le grand public.

Depuis, d'importants progrès ont été accomplis pour rendre celle-ci plus accessible et intelligible. Ces progrès ne sont pas seulement la conséquence d'une réglementation plus exigeante, ils résultent aussi de la volonté de l'exploitant d'agir dans ce sens. Car pour rester crédible et légitime à poursuivre ses activités, l'exploitant ne peut agir dans l'ombre, ni cacher les difficultés techniques auxquelles il peut être confronté.

Ceci répond également à une attente sociétale de plus en plus forte qui se manifeste notamment à l'occasion de l'instruction des demandes d'autorisation (enquête publique) et des réunions des Commissions Locales d'Information (CLI). Dans ces circonstances, l'exploitant ne peut pas simplement signaler qu'il respecte la réglementation. Il se doit d'expliquer les actions qu'il met en œuvre pour réduire – autant que raisonnablement possible – les rejets et les impacts de ses installations et montrer comment il tient compte des demandes du public et des parties prenantes.

Les moyens par lesquels l'exploitant informe le public sont très variés (bulletins d'informations et rapports d'activité transmis à la CLI, site *Internet*, organisation de visites des installations…). En cas d'événement anormal à l'origine de rejets incontrôlés, l'exploitant en informe rapidement les autorités, les pouvoirs publics et les médias. Dans ces situations, rapidité, fiabilité et sincérité du message sont des éléments essentiels pour éviter la propagation de fausses informations auprès du public.

3.1 Rapports à fournir au titre de la législation et réglementation relatives aux activités nucléaires

Au titre de la législation sur la transparence en matière nucléaire, l'exploitant est tenu d'établir un rapport annuel[5], rendu public, couvrant un champ d'informations très large puisqu'il doit aborder, en plus des questions d'environnement, les dispositions prises en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. Ce rapport est soumis au Comité d'hygiène, de sécurité et de conditions de travail de la centrale nucléaire qui peut formuler des recommandations. Celles-ci sont annexées au rapport qui doit être transmis, avant le **30 juin** de l'année suivante, à l'Autorité de sûreté nucléaire, à la commission locale d'information et au Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire[6].

1. Article L. 593-15 du Code de l'environnement.
2. Article 25-III du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié.
3. Article L. 122-1 du Code de l'environnement.
4. Articles L. 125-34 et L. 125-40 du Code de l'environnement (ex art. 23 à 27 de la loi TSN du 13 juin 2006).
5. Article L. 125-15 du Code de l'environnement et article 23 du décret n° 2007-1557 du 2 nov. 2007.
6. Article L. 125-16 du Code de l'environnement.

Au titre de réglementation relative aux INB[1], il est demandé un rapport ciblé sur les prélèvements d'eau, les rejets d'effluents, la surveillance de l'environnement et les impacts et nuisances occasionnés durant l'année civile écoulée, ainsi que la cohérence des rejets avec les prévisions[2]. Ce rapport, qui peut être intégré au rapport mentionné ci-dessus, est à transmettre, avant le **30 juin** de l'année suivante, à l'Autorité de sureté nucléaire, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), l'Agence Régionale de Santé (ARS), au service chargé de la police de l'eau ainsi qu'à la commission locale d'information.

3.2 Rapport public annuel « environnement » au titre des autorisations de prélèvements d'eau et de rejets

Ce rapport contient toutes les informations relatives aux contrôles et aux mesures de surveillance réalisées par l'exploitant dans l'année. Ce « **rapport annuel environnement** » est adressé au plus tard le **30 avril** de l'année suivante à l'administration (ASN, service de la police de l'eau, préfecture de département…) ainsi qu'à la CLI (*cf.* chapitre 9 du guide).

3.3 Documents mensuels « grand public »

Bien que les rapports annuels destinés au public soient établis par l'exploitant avec le souci de simplicité et de clarté, ces documents restent d'un abord difficile pour une personne non initiée. Pour cette raison, l'information destinée au public est complétée par la diffusion de plaquettes ou de bulletins dits « grand public » comportant, outre la présentation synthétique des résultats, des illustrations et des photos. Ces documents de périodicité mensuelle sont diffusés non seulement aux CLI mais aux associations, aux médias régionaux, aux élus locaux voire aux communes étrangères dans le cas des sites frontaliers.

3.4 Visite d'une centrale nucléaire

Les questions que se pose le public sur le fonctionnement d'une centrale nucléaire et son impact sur l'environnement peuvent être approchées concrètement lors d'une visite de site. Chaque centrale nucléaire dispose d'un centre d'information permettant d'accueillir des personnes du public, des écoliers et étudiants pour montrer, au moyen de panneaux explicatifs, de maquettes et de films, d'une visite de terrain, la vie de la centrale et de son environnement.



Centre d'information du public à la centrale nucléaire de St-Laurent-des-eaux.

3.5 Portail Internet

L'avènement d'Internet a permis d'élargir la diffusion de l'information à la planète tout entière. À cet égard, le site *http://energie.edf.com/nucleaire/environnement* fournit à la rubrique « *En direct de nos centrales* » des informations actualisées sur le fonctionnement et l'environnement des centrales nucléaires d'EDF.

3.6 Communication scientifique

EDF R&D organise régulièrement des communications scientifiques sur ses travaux d'études dont les résultats sont publiés sur le site Internet (www.hydroecologie.org) dédié ou font l'objet de colloques ouverts au public (ex. colloques d'hydroécologie).

1. Article 4.4.4 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB applicable au 1/07/2013.
2. Article 4.4.3 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB applicable au 1/07/2013



4. Information du public par l'administration



Revue *Contrôle* publiée par l'ASN.

Les autorités compétentes et en particulier l'ASN mettent à la disposition du public sur Internet un grand nombre d'informations relatives à l'environnement des centrales nucléaires (rapports annuels, les rapports d'inspections, les rapports d'étude, les publications…).

4.1 Sur la radioactivité de l'environnement (RNM)

En février 2010, le Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM) a été mis en ligne sur Internet. Développé sous l'égide de l'ASN en lien avec l'IRSN, ce réseau rassemble et met à la disposition du public des résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement et des documents de synthèse sur la situation radiologique du territoire et sur l'évaluation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée (www.mesure-radioactivite.fr/public).

Ce réseau reçoit les résultats des analyses radiologiques issues de programmes réglementaires de surveillance de l'environnement des installations nucléaires, mais également les résultats des mesures réalisées à la demande des collectivités territoriales, des services de l' état et les résultats des associations qui le sollicitent. La qualité et la fiabilité des données du réseau est garantie par l'agrément des laboratoires qui réalisent ces mesures (*cf.* chapitre 9 du guide).

4.2 Sur les débats scientifiques

Il arrive que la confiance du public soit ébranlée à la suite d'un incident, d'un accident ou d'une polémique relayée par les médias. Dans ce cas, la simple communication sur le risque peut s'avérer insuffisante pour dissiper l'inquiétude du public. La mise en place d'une expertise dite pluraliste, faisant appel à divers acteurs (institutions, universités, associations du public, industriels…) peut apporter des réponses crédibles (*cf.* encart).

Exemple d'expertise pluraliste : étude Nord-Cotentin

Une étude épidémiologique réalisée par D. Pobel et JF. Viel, publiée dans le *British Medical Journal* en 1997, révélait une incidence plus élevée de leucémie dans le Nord-Cotentin chez les jeunes de moins de 25 ans. Cette étude émettait l'hypothèse d'une relation possible entre les rejets des installations nucléaires de la région et ces observations.

Afin de répondre à la polémique soulevée par cette révélation, les ministres de la Santé et de l'Environnement ont demandé la mise en place d'un groupes d'experts d'origines diverses (institutionnels, associations de protection de l'environnement, industriels et experts étrangers). Le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (GRNC) a donc été créé pour examiner si les rejets de l'usine de retraitement de La Hague et les centrales nucléaires de la région pouvaient être à l'origine des leucémies observées.

À l'issue de deux années de travail (1997-1999), le groupe GRNC a conclu que le risque sanitaire lié aux rejets radioactifs des installations du Nord-Cotentin, calculé suivant les meilleures méthodes disponibles, était très faible et ne permettait pas d'expliquer le nombre de leucémies survenues.

Pour autant, le travail du groupe ne s'est pas arrêté là. De nouvelles questions étant apparues lors des échanges (réserves émises par certains membres du groupe), les réflexions se sont poursuivies en particulier sur les incertitudes liées aux calculs de risque et sur le risque – non pris en compte dans l'étude initiale – associé aux rejets chimiques. Le groupe GRNC a rendu accessible à la société le résultat du travail accompli dans un rapport et à l'occasion de nombreuses réunions publiques.

À cet égard, le GRNC a constitué un modèle de lieu de dialogue technique qui a permis de développer des connaissances scientifiques, notamment en ce qui concerne l'évaluation des impacts dus aux radionucléides sur la santé des populations (méthode de calcul, exploitation des données de surveillance de l'environnement).



Rapport d'étude du GRNC.

5. Information du public par les sociétés savantes

5.1 Société Française de Radioprotection (SFRP)

La SFRP a pour objectifs de rassembler les professionnels de la Radioprotection, de favoriser les échanges d'informations entre spécialistes et non-spécialistes, de promouvoir la culture de radioprotection et de renforcer la collaboration internationale dans ce domaine. Elle comprend une section spécialisée sur l'environnement qui organise des journées d'information sur ce thème (rejets radioactifs, études des transferts de la radioactivité dans l'environnement, évaluation des conséquences, mesures de protection et de prévention…). La SFRP publie la revue *Radioprotection* et tient à jour le site internet de ses activités (www.sfrp.asso.fr).

5.2 Société Française d'Energie Nucléaire (SFEN)

La SFEN fournit sur son site Internet des informations de base permettant de se familiariser avec l'énergie nucléaire voire d'approfondir certains sujets tels que les rejets des centrales nucléaires (www.sfen.org).

Bibliographie

- Vivre EDF avril-mai 2009.
- ASN, Revue Contrôle n° 177, nov. 2007.

Pour en savoir plus

- http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=2467(Convention Aahrus)
- http://europa.eu/legislation_summaries/environment/general_provisions/l28056_fr.htm (Directives européennes 2003/4/CE sur l'information du public et 2003/53 sur la participation publique)







Cadre réglementaire

1. Cadre général



Assemblée nationale

La réglementation relative à la protection de l'environnement est composée de règles juridiques (normes) portant notamment sur :

- les éléments de l'environnement : air, eau, sols, écosystèmes,
- les activités humaines telles que celles des installations nucléaires de base – dont font partie les centrales nucléaires – ou des installations classées pour la protection de l'environnement,
- des sujets particuliers : fabrication et usage de substances chimiques, gestion des déchets.

Ces règles (normes) tendent à devenir de plus en plus techniques et complexes au fur et à mesure des avancées scientifiques et techniques. Elles sont déclinées dans des systèmes juridiques hiérarchisés en droit international, communautaire, national, voire local. Outre leur caractère normatif (obligations), ces règles de droit comportent également des recommandations aux différents acteurs.

Les principales dispositions législatives et réglementaires applicables dans le domaine de l'environnement ont été codifiées dans le Code de l'environnement, entré en vigueur par l'Ordonnance du 18 septembre 2000 (*cf.* annexe 5.3). Celui-ci intègre les règles établies notamment au regard du droit international (traités, conventions, protocoles) et du droit communautaire, dont la transposition est la source de plus de 85 % du droit français de l'environnement. Cependant, de nombreux textes d'application demeurent en dehors du code.

Les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents des centrales nucléaires d'EDF nécessitent l'obtention d'autorisations délivrées par les autorités compétentes françaises dans le cadre général de cette réglementation (*cf.* §5).

Code de l'environnement – Charte de l'environnement
Principes généraux sous-tendant la réglementation

Code de l'environnement

L'article L. 110-1 du Code de l'environnement dispose que « *les espaces, ressources et milieux naturels (…), font partie du patrimoine commun de la nation. Leur protection (…), sont d'intérêt général et concourent à l'objectif de développement durable qui vise à satisfaire les besoins de développement et la santé des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.* »

Ce même article énonce également que sa protection, sa mise en valeur, et sa remise en état s'inspire des principes généraux sur lesquels repose le droit de l'environnement, que l'on retrouve également sous une forme parfois différente dans la Charte de l'environnement promulguée en 2005 et adossée à la Constitution, à savoir :

- le **principe de précaution** *(article 5 de la Charte de l'environnement)*, selon lequel l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ;
- le **principe d'action préventive et de correction, par priorité à la source** *(article 3 de la Charte de l'environnement)*, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable (MTD) ;
- le **principe pollueur-payeur** *(article 4 de la Charte de l'environnement)*, selon lequel les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution et de lutte contre celle-ci doivent être supportés par le pollueur ;
- le **principe de participation** *(article 7 de la Charte de l'environnement)*, selon lequel chacun a accès aux informations relatives à l'environnement, y compris celles relatives aux substances et activités dangereuses, et le public est associé au processus d'élaboration des projets ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire (*cf.* chapitre 4 sur l'information du public).

Charte de l'environnement

La Charte de l'environnement, promulguée le 1er mars 2005, énonce en termes généraux que « *chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé.* » (article 1er) ainsi que « *le droit d'accéder à l'information détenue par les autorités publiques et le droit de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement* » (article 7). L'élévation au rang constitutionnel de cette Charte donne une assise plus forte à certains instruments et principes nécessaires à la politique publique dans le domaine de l'environnement (précaution, prévention, responsabilité).

2. Droit international de l'environnement

2.1 Organismes internationaux et organisations non gouvernementales concernés

Le droit international de l'environnement s'est développé à partir de la deuxième moitié du XXe siècle. Des centaines de textes internationaux ont vu le jour tant pour préserver les éléments de la biosphère (sols, eaux de surface et eaux souterraines continentales, océans, atmosphère), la biodiversité et la santé humaine que pour tenter de résoudre les problèmes affectant les écosystèmes du fait des activités humaines.

La concertation entre les États est réalisée au travers de différents **organismes internationaux** créés, en général, sous l'égide des Nations Unies (ONU). Ces organismes ou commissions élaborent des textes (accord, traité, convention, protocole, charte…) que les **États volontaires** (ou un groupement d'États comme l'Union européenne) signent puis ratifient. La ratification est l'acte par lequel le signataire exprime de façon définitive son consentement à être lié par le texte international et à l'appliquer. Cette volonté se traduit ensuite en droit communautaire (par l'adoption de

Organismes internationaux et organisations non gouvernementales concernés par l'environnement et le secteur nucléaire

Organismes internationaux

Certains organismes internationaux ont un rôle important dans l'élaboration de la réglementation dans le domaine de l'environnement et de la santé du public. Ils désignent les organisations intergouvernementales émanant des pouvoirs publics. Ils sont à distinguer des ONG qui émanent des membres privés de différents pays.

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), créée en 1972 lors du Sommet de la Terre de Stockholm, est un organe statutairement subsidiaire au Conseil Économique et Social. Basé à Nairobi au Kenya, le PNUE est la voix de l'ONU pour l'environnement. Il coordonne les politiques de cette dernière en matière d'environnement. Il assiste également les différents pays dans la mise en œuvre de leurs politiques environnementales, et a un rôle de promotion du développement durable.

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), créée en 1928, est une organisation internationale indépendante et émet des recommandations en matière de radioprotection. Ses recommandations n'ont pas force de loi, mais, de fait, sont reprises dans les réglementations nationales, soit directement, soit, dans le cas de l'Union européenne, après transposition sous forme de directives.

Le Comité Scientifique des Nations Unies sur l'Effet des Radiations Atomiques (UNSCEAR - *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations*), créé en 1955 est le comité des Nations Unies qui a pour mission l'étude des effets biologiques des rayonnements ionisants. Sa vocation est exclusivement scientifique. Il établit notamment une synthèse des expositions moyennes dues aux différentes sources d'exposition.

L'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), créé en 1956, dont le siège est à Vienne (Autriche), fait partie des six organismes autonomes des Nations Unies, avec entre autres l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN) de l'OCDE. Dans le domaine de la radioprotection notamment, l'AIEA produit des documents qui servent de référence dans le monde entier : certains d'entre eux sont intégrés directement dans les réglementations nationales ou pris en compte par la Commission européenne pour préparer des directives.

Organisations Non Gouvernementales (ONG)

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), fondée en 1948, est basée en Suisse et est la plus importante ONG en charge de la conservation de la nature en termes d'intégrité et de diversité des ressources naturelles. L'UICN regroupe des États, des agences gouvernementales et des organisations non-gouvernementales. Elle est accréditée auprès de l'ONU. Sa mission est d'influencer, d'encourager et d'assister les sociétés dans le monde entier, dans la conservation de l'intégrité de la nature et de la biodiversité, ainsi que de s'assurer que l'utilisation de ces ressources naturelles est faite de façon équitable et durable. Sa liste rouge des espèces menacées est une référence mondiale.

Le Fonds Mondial pour la Nature (WWF), créée en 1961, est une organisation non gouvernementale internationale de protection de la nature et de l'environnement, fortement impliquée dans la protection de la biodiversité et le développement durable.

règlements, directives) et en droit français dans des textes législatifs et réglementaires (par l'intervention de lois, décrets...).

Les **Organisations Non Gouvernementales** (ONG), qui ne relèvent ni d'un État ni d'une institution internationale, sont devenues des acteurs incontournables des relations internationales. Elles interviennent dans la préparation et l'élaboration du droit de l'environnement et jouent un rôle d'alerte vis-à-vis du public et des décideurs. Elles participent aux débats et négociations des politiques de protection de l'environnement et assurent une surveillance informelle de l'application des obligations environnementales qui en découlent.

2.2 Principaux textes internationaux ratifiés par la France

Convention de Barcelone sur la protection du milieu marin et du littoral méditerranéen (protocole d'Athènes), 1976[1]

La convention a été signée en 1976 à Barcelone, sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), pour protéger la mer Méditerranée contre la pollution. Ratifiée par la France en 2001, cette convention est entrée en vigueur en 2004.

Cette convention comporte plusieurs protocoles, dont le protocole sur la pollution d'origine terrestre dit **Protocole d'Athènes**. Il fixe pour objectif la prise de mesures pour prévenir, combattre et éliminer « dans toute la mesure du possible » la pollution en mer Méditerranée due aux déversements par les fleuves, les établissements côtiers ou les émissaires, et vise en en particulier les rejets toxiques susceptibles de bio-accumulation ; les substances visées sont énumérées dans une liste annexée au protocole (*détergents non biodégradables, métaux lourds, biocides et leurs dérivés, substances radioactives si les rejets sont non conformes aux principes de radioprotection, microorganismes pathogènes, hydrocarbures)* mais aussi les composés azotés ou phosphorés pouvant être la cause d'eutrophisation et les rejets thermiques.

Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, 1987[2]

Certaines substances chimiques émises dans l'atmosphère par les activités humaines appauvrissent la couche d'ozone stratosphérique (couche située entre 10 et 50 km de la surface de la Terre) dont le rôle est de filtrer les rayons ultraviolets du soleil qui sont nocifs pour la santé humaine et les écosystèmes.

Ce protocole impose la suppression de l'utilisation des chlorofluorocarbones (CFC) sauf pour des utilisations qualifiées de critiques ou essentielles, des halons, du bromure de méthyle et d'autres substances telles que les hydrochlorofluorocarbones (HCFC), le tétrachlorure de carbone, le bromochlorométhane, le hydrobromofluorocarbone et le méthylchloroforme.

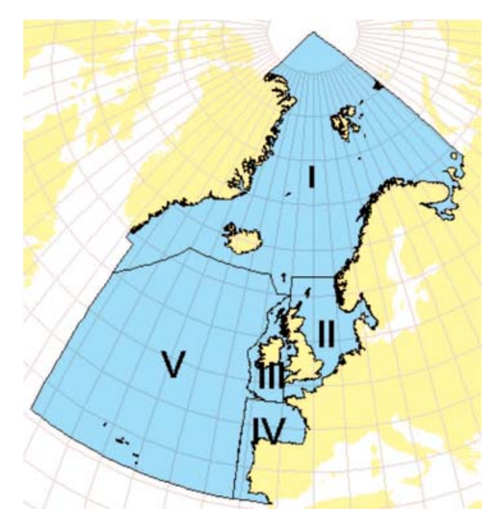
Les centrales nucléaires sont concernées par ces dispositions car les matériels frigorifiques et les systèmes de climatisation utilisent certaines des substances visées. Un bilan des pertes de ces fluides doit être réalisé chaque année par l'exploitant.

Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est, dite OSPAR (contraction de OSlo-PARis), 1992[3]

La protection des eaux marines de l'Atlantique nord-est contre la pollution d'origine terrestre (Convention de Paris de juin 74) et la pollution provenant des immersions en mer (Convention d'Oslo de 1972) fait l'objet d'une Convention unique dénommée OSPAR, qui est entrée en vigueur le 25 mars 1998 (*cf.* chapitre 3 et chapitre 11 du guide).

Cette Convention revêt une grande importance pour toutes les installations dont les rejets (radioactifs ou non) aboutissent dans les mers nord-européennes définies par OSPAR (*cf.* fig. 1). Toutes les centrales nucléaires d'EDF sont donc concernées à l'exception de celles situées sur le Rhône, visées par le protocole d'Athènes.

Fig. 1 ➜ Zones maritimes couvertes par la convention OSPAR



1. Signée en 1976, entrée en vigueur en 2004.
2. Signé le 16 septembre 1987.
3. Ouverte à la signature le 22 décembre 1992, entrée en vigueur le 25 mars 1998.



Au cours d'une Conférence tenue à Sintra (Portugal)[1] en 1998, les ministres de l'environnement des 15 pays signataires ont adopté, le 24 juillet, une stratégie portant sur la réduction progressive des substances dangereuses en général, et sur d'autres thèmes visant à protéger l'environnement marin tels que la lutte contre l'eutrophisation.

Pour les substances chimiques dangereuses, cette déclaration prévoit la réduction des rejets, de façon à parvenir à des **teneurs** dans l'environnement proche des teneurs ambiantes pour les substances présentes à l'état naturel, et proches de zéro pour les substances de synthèse. À cet objectif général fermement affiché est associée une volonté (« *nous ferons tout notre possible pour progresser dans le sens de* ») d'atteindre une *cessation* pure et simple des rejets d'ici l'an 2020.

Pour les substances radioactives, la convention fixe pour objectif « *de parvenir d'ici 2020 à des **teneurs**, dans l'environnement, proches des teneurs ambiantes dans le cas des substances radioactives présentes à l'état naturel, et proches de zéro dans le cas des substances radioactives artificielles* », ceci au moyen de « *réductions progressives et substantielles des rejets, émissions ou pertes radioactives* » (*cf.* chapitre 11 §5 du guide).

Protocole de Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre, 1997[2]

La Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (Sommet de la Terre) organisée à Rio, en 1992, a notamment abouti à l'adoption d'une Convention-cadre sur le changement climatique dont le Protocole de Kyoto a précisé les objectifs.

Le protocole de Kyoto, élaboré en 1997 et entré en vigueur en 2005, propose un calendrier de réduction des émissions des six gaz à effet de serre qui sont considérés comme la cause principale du réchauffement climatique des cinquante dernières années : gaz carbonique (CO_2), méthane (CH_4), hydrofluorocarbone (HFC), perfluorocarbone (PFC), hexafluorure de soufre (SF_6), peroxyde d'azote (N_2O).

La France, qui a signé le Protocole en 1998, a entériné celui-ci en droit national au travers du décret n° 2005-295 du 22 mars 2005 portant publication du Protocole de Kyoto.

Convention de Berne pour la protection du Rhin, 1999[3]

En signant une nouvelle Convention pour la Protection du Rhin le 12 avril 1999 à Berne, les Gouvernements des cinq États riverains du Rhin (Suisse, France, Allemagne, Luxembourg, Pays-Bas) et le représentant de la Commission européenne ont formellement souligné qu'il convenait de protéger le caractère précieux du Rhin, de ses berges et de son milieu alluvial en renforçant plus encore la coopération. Cette Convention, entrée en vigueur en 2003, remplace l'ancienne Convention de Berne de 1963 (*cf.* §5 à propos des centrales frontalières ; centrale de Fessenheim).

Les travaux réalisés dans le cadre de cette Convention sont suivis par la Commission internationale pour la protection du Rhin, composée de représentants des États signataires.

Accord international de Gand sur la Meuse, 2002[4]

La Commission internationale de la Meuse a été créée en 2002 par la signature de l'accord international sur la Meuse. L'objectif de l'accord est la gestion durable et globale de l'eau du district hydrographique de la Meuse. L'accord a été signé par la Région wallonne, les Pays-Bas, la France, l'Allemagne, la Région flamande, la Région de Bruxelles-Capitale, la Belgique et le Luxembourg et il est entré en vigueur en 2005 (*cf.* §5 à propos des centrales frontalières : centrale de Chooz).

1. La déclaration de SINTRA ne constitue toutefois ni une décision ni une recommandation au sens de la Convention ; elle peut s'analyser comme un simple engagement de nature politique.
2. Signé le 11 décembre 1997 et entré en vigueur en 2005.
3. Signée le 12 avril 1998, entrée en vigueur en 2003.
4. Signé le 3 décembre 2002, entré en vigueur en 2006.

3. Réglementation européenne

L'environnement fait partie des domaines dans lesquels les pays de l'Union européenne ont reconnu, dès les années 70, l'intérêt d'une approche commune. Cette approche se caractérise par deux types d'actions :

- la détermination de règles communes pour lutter contre les pollutions globales pouvant avoir un impact sur l'environnement et sur l'Homme qui en fait partie ;
- la fixation de normes communes concernant notamment la qualité de l'eau, l'exposition du public aux rayonnements ionisants (radioprotection).

La réglementation européenne, dans le domaine de l'environnement et de la santé du public, dérive souvent de textes internationaux dont l'Union européenne est partie prenante. Elle conditionne une grande partie de la réglementation nationale des pays membres.

Parmi les différents instruments juridiques communautaires (*cf.* annexe 5.2), la Directive européenne est l'acte normatif qui domine en matière d'environnement. Celle-ci doit être transposée dans le droit national pour pouvoir produire ses effets. Si ses termes sont suffisamment clairs et précis, la Directive peut s'appliquer directement dans le droit national, avant sa transposition.

Les dispositions législatives et réglementaires appliquées aux Installations Nucléaires de Base (INB) et aux centrales nucléaires sont tirées du droit communautaire, il est donc nécessaire d'en présenter, ici, les éléments marquants.

3.1 Textes relatifs à la protection de la santé publique

Traité EURATOM[1]

Ce traité a été signé en 1957 dans le but de permettre le développement de l'énergie nucléaire tout en assurant la protection de la population et des travailleurs contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Ce traité comporte plusieurs articles qui concernent la protection du public contre les effets des rayonnements ionisants (Art. 30 à 33), les rejets radioactifs et la radioactivité dans l'environnement (Art. 35 à 38).

Parmi ces articles, l'article 37 intéresse particulièrement l'exploitant lorsque celui-ci envisage de construire une installation nouvelle ou de modifier une installation existante pouvant entraîner une augmentation des rejets radioactifs (*cf.* encart)[2].

Articles clés du traité EURATOM

Article 35 : Chaque État membre doit établir les installations nécessaires pour effectuer le contrôle permanent du taux de radioactivité de l'atmosphère, des eaux et des sols. La Commission a le droit d'y accéder pour s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur efficacité.

Article 36 : Les résultats des contrôles effectués au titre de l'article 35 doivent être régulièrement communiqués par les Autorités compétentes des États membres à la Commission européenne.

Article 37 : Les États membres doivent fournir à la Commission européenne les « données générales » de tout projet de rejet d'effluents radioactifs permettant de déterminer si ce projet est susceptible d'entraîner une contamination radioactive des eaux, du sol ou de l'espace aérien d'un autre pays membre. Après consultation du groupe d'experts visé à l'article 31, la Commission européenne émet un avis dans un délai de 6 mois. Tout projet de construction ou modifications de conditions d'exploitation d'une centrale nucléaire nécessite donc d'établir un dossier au titre de cet article 37 (dossier dit « article 37 »), dès lors que ce projet entraîne une augmentation des rejets radioactifs ou une production de nouveaux rejets pouvant atteindre un autre État membre.

Article 38 : La Commission européenne peut adresser aux États membres toutes les recommandations en ce qui concerne le taux de radioactivité dans l'environnement (air, eau, sol).

Directive 96/29/EURATOM du 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants ; prise au titre du traité EURATOM

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) a adopté en 1990 des recommandations en matière de radioprotection des

1. European Atomic Energy Community.
2. *Cf.* Recommandation de la Commission européenne n° 2010/635/Euratom du 11 octobre 2010 sur l'application de l'article 37 du traité EURATOM.

travailleurs et du public qui ont fait l'objet de la publication n° 60. Celles-ci ont été transcrites par l'AIEA sous forme de normes internationales (« Basic Safety Standards ») en 1994, et transposées en droit européen dans la Directive 96/29 EURATOM « Normes de Base de radioprotection » du 13 mai 1996. Cette Directive a été intégrée dans la réglementation française en 2000 notamment avec le décret n° 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants.

Cette réglementation est fondée sur trois principes de base, à propos desquels existe un consensus international :

- **le principe de justification** : l'activité humaine impliquant une exposition aux rayonnements ionisants doit pouvoir être justifiée par les avantages qu'elle procure, après avoir pris en compte l'ensemble des avantages et des inconvénients,
- **le principe de l'optimisation de la protection** : non seulement les expositions doivent être justifiées mais, de plus, elles doivent être maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible de le faire ; le principe d'optimisation est encore appelé « principe ALARA » (As Low As Reasonably Achievable) ;
- **le respect de limites ou de niveaux de dose à ne pas dépasser (principe de limitation)** : ces limites ou niveaux dépendent des circonstances, ainsi elles sont plus sévères pour les enfants.

En ce qui concerne la protection du public contre les rayonnements ionisants, la CIPR a fixé, en 1990 dans sa publication n° 60, la limite d'exposition pour le public à 1 mSv/an (au lieu de 5 mSv/an auparavant)[1]. Précisons qu'il s'agit de la dose ajoutée imputable à l'ensemble des « pratiques », c'est-à-dire des activités humaines, et que, pour une industrie particulière, l'ajout autorisé n'est qu'une fraction de cette limite. La limite d'exposition pour la population de 1 mSv/an est reprise par la directive ainsi que par le décret de transposition n° 2002-460 du 4 avril 2002.

Directive européenne n° 98/83/CE du 03 novembre 1998 *relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine*

La Directive vise à protéger la santé des personnes en établissant des exigences de salubrité et de propreté auxquelles doit satisfaire l'eau potable dans la Communauté. Elle s'applique à toutes les eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales **naturelles** et des eaux médicinales.

Ce texte a été transposé en droit français par le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles.

Cette Directive introduit pour la première fois des paramètres de qualité relatifs à la radioactivité. L'un porte sur le tritium (100 Bq/L[2]), l'autre sur la dose reçue du fait de l'ingestion d'eau (0,1 mSv/an). Ces valeurs ne sont pas des limites mais simplement des paramètres indicateurs. En cas de dépassement, les États membres sont tenus d'informer la Commission européenne et la population, de rechercher la source de la contamination et, éventuellement, de prendre des mesures pour réduire les concentrations de tritium dans l'eau potable.

La dose indicative totale (0,1 mSv/an) ne concerne pas uniquement le tritium mais l'ensemble des radioéléments à l'exclusion du potassium 40 et du radon et ses descendants.

Directive européenne 2006/7/CE du 15 février 2006 *concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la Directive 76/160/CEE*

Cette directive vise à préserver, protéger et à améliorer la qualité de l'environnement ainsi qu'à protéger la santé humaine, en complément de la directive 2000/60 (ci-après). Elle s'applique à toute partie des eaux de surface où l'autorité compétente de l'État membre s'attend à ce qu'un grand nombre de personnes se baignent. Cette Directive a été transposée en droit français, notamment, par la loi dite « LEMA » (*cf.* §4.2).

3.2 Textes relatifs à la protection du milieu aquatique

Directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil adoptée le 23 octobre 2000, *établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (Directive dite « Cadre sur l'Eau », « DCE »)*[3]

Cette Directive a été transposée, notamment, par la loi dite « LEMA » (*cf.* §4.2). C'est l'élément majeur de la réglementation européenne en matière de protection de la ressource en eau. Avec les directives relatives à la santé publique, la directive cadre sur l'eau fait partie des textes communautaires ayant une grande importance pour les activités des centrales nucléaires s'agissant des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents.

---

1. Le niveau de l'irradiation naturelle est de 2,4 mSv/an en moyenne en France.
2. Nota : L'OMS a fixé une limite d'activité pour le tritium de 10 000 Bq/L. Cette valeur été déterminée en considérant qu'une consommation quotidienne de 2 litres d'eau potable à 10 000 Bq/L n'entraîne pas de dose supérieure à 0,1mSV, soit 1/10e de la limite réglementaire fixée pour le public : 1 mSv/an.
3. Modifiée par la directive 2009/31/CE.
4. Signé le 3 décembre 2002, entré en vigueur en 2006.

Objectifs
L'objectif de la politique communautaire dans le domaine de l'eau vise à atteindre, d'ici 2015, un « **bon état** » chimique et écologique des eaux superficielles et souterraines en Europe. Pour y parvenir, la directive prévoit d'instaurer une gestion de l'eau par bassin **hydrographique**, afin :

- d'améliorer la qualité des eaux et des écosystèmes,
- de prévenir toute dégradation supplémentaire,
- de promouvoir une utilisation durable de l'eau (usages),
- de réduire progressivement les émissions de substances chimiques dangereuses,
- de contribuer à atténuer les effets des inondations et des sécheresses,
- de protéger les eaux marines,
- de réaliser les objectifs des accords internationaux.

Gestion de l'eau par bassin hydrographique
Cette gestion par bassin hydrographique, qui s'inspire de la législation française (loi sur l'eau de 1964), est fondée sur :

- **l'identification et l'analyse des masses d'eaux :** les États membres sont tenus de recenser tous les bassins hydrographiques qui se trouvent sur leur territoire afin de les rattacher à des districts hydrographiques. Les bassins hydrographiques qui s'étendent sur le territoire de plus d'un État seront intégrés au sein d'un district hydrographique international. Chaque État membre désigne une autorité compétente pour chacun des districts.

Les États membres doivent faire une analyse des caractéristiques de chaque district hydrographique, une étude de l'incidence de l'activité humaine sur les eaux, une analyse économique de l'utilisation de celles-ci et un registre des zones qui nécessitent une protection spéciale.

- **les mesures de protection et de restauration :** un plan de gestion et un programme de mesures doivent être élaborés au sein de chaque district hydrographique. Ces mesures ont pour but de :
  - prévenir la détérioration, améliorer et restaurer l'état des masses d'eau de surface afin d'atteindre un **bon état chimique** et **écologique** (*cf.* encart) de celles-ci,
  - réduire la pollution due aux rejets et émissions de substances chimiques dangereuses ;
  - protéger, améliorer et restaurer les eaux souterraines, prévenir leur pollution, leur détérioration et assurer un équilibre entre leurs captages et leur renouvellement ;
  - préserver les zones protégées tels que les sites « Natura 2000 » (*cf.* chapitres 3 et 8 du guide).

Les objectifs précédents doivent être atteints en 2015, mais cette échéance peut être rapportée ou assouplie, tout en respectant les conditions établies par la Directive. Une liste de s**ubstances chimiques prioritaires** présentant un risque important pour le milieu aquatique constitue l'annexe X de la Directive. Celle-ci a été modifiée par la directive – fille 2008/105/CE sur les Normes de Qualité Environnementales (NQE) et les zones de mélange (*cf.* encart). Une détérioration temporaire des masses d'eau ne constitue pas une infraction de la présente directive si elle résulte des circonstances exceptionnelles et non prévisibles liées à un accident, une cause naturelle ou un cas de force majeure.

En France, les obligations de cette Directive sont intégrées notamment dans les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) élaborés et mis en œuvre au niveau de chaque bassin hydrographique (*cf.* §4.3).

Concertation avec les parties prenantes et aspects financiers
Chaque État membre doit encourager la concertation avec toutes les parties prenantes pour élaborer ces plans de gestion. Les États membres doivent assurer que la politique de **tarification** incite les consommateurs à utiliser les ressources de façon efficace et que les différents secteurs économiques contribuent à la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau, y compris les coûts pour l'environnement et les ressources.

Directive 2008/56/CE du 17 juin 2008 *établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM))*

La Directive ne porte sur le domaine littoral que de façon incomplète, puisque cet espace est déjà pris en compte partiellement par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). L'objectif principal de la Stratégie marine européenne est de parvenir à un bon état écologique du milieu marin dans l'Union européenne à l'horizon 2020.

Directives « filles » de la directive DCE et autres Directives relatives à l'eau

La Directive cadre sur l'eau donne naissance à des Directives « filles » et d'autres textes relatifs à l'eau. Les principaux textes sont énumérés ci-après :

- Directive 2006/44/CE du 6 septembre 2006 concernant la qualité des **eaux douces** ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons.
- Directive 2006/118/CE du 12 décembre 2006 sur la protection des **eaux souterraines** contre la pollution et la détérioration. Cette Directive définit le cadre des dispositions à mettre en œuvre pour prévenir et réduire la pollution des eaux souterraines. Ceci passe, notamment, par des mesures d'évaluation de l'état chimique des eaux et des actions visant à réduire la présence de polluants.

- Directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et la gestion des **inondations**.
- Directive 2008/105/CE du 16 décembre 2008 établissant des **normes de qualité environnementale** dans le domaine de l'eau. Elle fixe des limites de concentration dans les eaux de surface pour **33 substances chimiques prioritaires et 8 autres polluants**.

Directive européenne Cadre sur l'Eau (DCE)

Les grandes étapes de sa mise en œuvre par les États membres

- 2004 : État des lieux
- 2005 : Consultation du public sur l'état des lieux
- 2008 : Consultation du public sur les SDAGE
- 2009 : Publication du premier plan de gestion et du programme de mesures
- 2009 : Adoption des SDAGE révisés
- 2015 : Point sur l'atteinte des objectifs, suivi d'un second plan de gestion et programme de mesure
- 2027 : Dernière échéance pour la réalisation des objectifs

Mise en œuvre de la DCE vis-à-vis des objectifs de qualité d'eau

Centrée sur la préservation du milieu naturel et assortie d'une obligation de résultats, la DCE implique la planification et la mise en œuvre d'actions de **diagnostic** et, le cas échéant, de **restauration** des milieux aquatiques.

La phase de **diagnostic** consiste à établir un état des lieux des milieux aquatiques. Au cours de cet état des lieux seront choisis des **sites de référence** qui permettront d'établir des **valeurs de référence** du « bon état » chimique et écologique » pour les différents indicateurs de qualité chimique (concentrations de polluants) et biologique (invertébrés, diatomées, poissons, macrophytes…) pour chaque type de masse d'eau.

La notion de bon état
(exemple des eaux superficielles)

État écologique (physicochimie, biologie)		État chimique (normes / usages)
Très bon, Bon	→ ☺ ☺ ←	Bon
Moyen, Médiocre, Mauvais	→ ☹ ☹ ←	Pas bon

Une situation appréciée par rapport aux conditions de référence (très bon état)…

Termes-clés de la directive 2000/60/CE (Art. 2)

Bon état chimique d'une eau de surface : état d'une masse d'eau respectant les critères chimiques définis par l'annexe IX de la directive DCE ou d'autres textes communautaires pertinents fixant les normes de qualité environnementale.

Bon état écologique : état d'une masse d'eau respectant les critères biologiques de qualité définis par les textes communautaires, notamment l'annexe V de la Directive DCE.

Bon potentiel écologique : état d'une masse d'eau fortement modifiée hydromorphologiquement par l'homme ou artificielle conformes aux dispositions de l'annexe V de la Directive DCE.

Bon état chimique d'une eau souterraine : état d'une masse d'eau répondant aux conditions de l'annexe V de la Directive DCE.

Norme de Qualité Environnementale (NQE) : la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biotope qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement.

Masse d'eau de surface : il s'agit d'une partie distincte et significative des eaux de surface telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières.

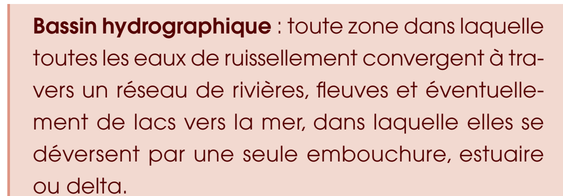
Eaux intérieures : toutes les eaux stagnantes et les eaux courantes à la surface du sol et toutes les eaux souterraines en amont de la ligne de base servant pour la mesure de la largeur des eaux territoriales.

Eaux de surface : les eaux intérieures, à l'exception des eaux souterraines, les eaux de transition et les eaux côtières, sauf en ce qui concerne leur état chimique, pour lequel les eaux territoriales sont également incluses.

Eaux souterraines : toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol.

Eaux de transition : des masses d'eaux de surface à proximité des embouchures de rivières, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité d'eaux côtières, mais qui sont fondamentalement influencées par des courants d'eau douce.

Eaux côtières : les eaux de surface situées en-deçà d'une ligne dont tout point est situé à une distanced'un mille marin au-delà du point le plus proche de la ligne de base servant pour la mesure de la largeur des eaux territoriales et qui s'étendent, le cas échéant, jusqu'à la limite extérieure d'une eau de transition.



Bassin hydrographique : toute zone dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, fleuves et éventuellement de lacs vers la mer, dans laquelle elles se déversent par une seule embouchure, estuaire ou delta.

District hydrographique : une zone terrestre et maritime, composée d'un ou plusieurs bassins hydrographiques ainsi que des eaux souterraines et eaux côtières associées, identifiée comme principale unité aux fins de la gestion des bassins hydrographiques.

Termes-clés de la Directive « fille » 2008/105/CE (Art. 4)

Zone de mélange : zone adjacente au point de rejet où les concentrations d'un ou plusieurs polluants peuvent dépasser les normes de qualité environnementales. L'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique et chimique reprend cette définition en précisant que « *Cette zone est proportionnée et limitée à la proximité du point de rejet et ne compromet pas le respect des NQE sur le reste de la masse d'eau* ».

Abrogations :

En 2007 (sept ans après l'entrée en vigueur de la directive), la législation suivante est abrogée :

- **Directive 75/440/CEE** concernant la qualité d'eau requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire.
- Décision **77/795/CEE** instituant une procédure commune d'échange d'informations relative à la qualité des eaux douces superficielles dans la Communauté.
- **Directive 79/869/CEE** concernant les mesures et la fréquence des échantillonnages et d'analyse des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire.

En 2013 (treize ans après l'entrée en vigueur de la directive), la législation suivante est abrogée :

- **Directive 79/923/CEE** concernant la qualité des eaux conchylicoles.
- **Directive 76/464/CEE** concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique, à l'exception de l'article 6, qui est abrogé à la date d'entrée en vigueur de la présente directive.
- **Directive 78/659/CEE** concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons.

3.3 Autres textes

***Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010** relative aux émissions industrielles (dite « IED » succédant à la directive 2008/1/CE du 15 janvier 2008 modifiée relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (dite « IPPC » : Integrated Pollution Prevention and Control qui est abrogée au 7 janvier 2014 par la Directive IED)*

Cette directive soumet notamment à autorisation les activités industrielles qui ont un fort potentiel de pollution. Elle vise à éviter ou à minimiser les émissions polluantes dans l'atmosphère, les eaux et les sols ainsi que les déchets provenant des installations industrielles en ayant recours aux **Meilleures Techniques Disponibles** (MTD).

Meilleures Techniques Disponibles (MTD)

Extrait de la Directive 2010/75/UE : art. 3 point 10 :

« meilleures techniques disponibles » : le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble.

a) Par « techniques », on entend aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt.

b) Par « disponibles », on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient utilisées ou produites ou non sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables.

c) Par « meilleures », on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. »

La notion de MTD définie par la Directive IED est souvent évoquée lorsqu'il est question des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents des centrales nucléaires d'EDF. Certaines MTD sont décrites dans des documents de référence appelés BREF (**B**est available Technique **Ref**erences). Ces documents techniques sont élaborés par la Commission en concertation avec les parties prenantes (industriel, États, ONG…).

Directives SEVESO 82/501/CE du 24 juin 1982, SEVESO II 96/82/CE du 9 décembre 1996 et SEVESO III 2003/105/CE du 16 décembre 2003 *sur la maîtrise des dangers*

La Directive SEVESO de 1982 a permis d'initier le processus d'harmonisation des législations sur la maîtrise du risque. Modifiée en 1996 et en 2006 la directive dite SEVESO constitue le pendant en matière de risques accidentels de la Directive IED sur les pollutions.

Règlement 2006/1907/CE du 18 décembre 2006 *concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (« REACH »)*

Le règlement REACH (enRegistrement, Evaluation et Autorisation des substances CHimiques) entré en vigueur le 1er juin 2007, couvre le contrôle de la fabrication, de l'importation, de la mise sur le marché et de l'utilisation des substances chimiques. Il vise les substances en tant que telles, ainsi que celles présentes dans les préparations ou dans les articles. Les substances radioactives et les déchets ne sont pas visés par ce texte. L'Agence européenne des produits chimiques, basée à Helsinki, a la charge des aspects techniques et administratifs liés au fonctionnement du dispositif REACH. EDF, en tant que fabricant de substances chimiques sur ses centrales nucléaires (fabrication de monochloramine et d'hypochlorite de sodium), constitue des dossiers d'enregistrement en vue de les déposer auprès de l'Agence européenne des produits chimiques avant l'échéance du 31 mai 2013.

Règlement REACH

Le règlement introduit des nouvelles procédures administratives que sont notamment :
- l'**enregistrement** : aucune substance soumise à enregistrement ne peut être fabriquée ni importée si elle n'a pas été enregistrée par le producteur ou l'utilisateur (« *pas de données, pas de marché* »). Ce sont les producteurs de substances et non plus les autorités publiques qui doivent prouver que les risques liés aux substances qu'ils produisent sont valablement maîtrisés : il s'agit alors d'un renversement de la charge de la preuve ;
- **l'évaluation** : l'évaluation permet à l'Agence européenne des produits chimiques de vérifier que l'industrie respecte ses obligations et évite les essais sur les animaux vertébrés inutiles ;
- **l'autorisation** : aucune substance soumise à la procédure d'autorisation (*CMR 1 & 2, PBT et vPvB*[1]) ne peut être utilisée si elle n'a pas fait l'objet d'une autorisation pour cet usage ;
- **la restriction** : c'est le filet de sécurité du système permettant de gérer les risques non couverts par ailleurs. Elle peut permettre l'interdiction pure et simple d'une substance sur le marché européen quel que soit son usage.

4. Réglementation française

La réglementation française relative aux installations nucléaires de base, dont font partie les centrales nucléaires d'EDF, repose sur des textes internationaux (conventions, protocoles…), le droit communautaire (règlements, directives…) et sur des textes généraux de protection de l'environnement et de santé publique ou de lutte contre les nuisances (lois, décrets, arrêtés, circulaires…). Les autorisations délivrées pour chaque centrale nucléaire à EDF afin de prélever de l'eau et rejeter des effluents dans l'environnement découlent de ces nombreux textes dont les principaux sont présentés ci-après. Les textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF font l'objet du paragraphe 5.

En matière de lutte contre toutes les formes de pollutions (chimique, radioactive, thermique, microbiologique), deux approches réglementaires coexistent :
- la première vise la prévention des nuisances de toute nature par une approche dite « intégrée » : réglementation relative aux INB et aux ICPE ;
- la seconde recherche la protection du milieu : réglementation relative à l'eau, à l'air, …

Nota : La réglementation relative à l'information du public et les missions exercées par l'Administration (notamment son rôle de police) sont respectivement abordés au *chapitre 4 et au chapitre 11 du guide**.*

1. **CMR :** Cancérigène, Mutagène, Repro-toxique – **PBT :** Persistante, Bioaccumulable, Toxique – **vPvB :** très Persistante, très Bioaccumulable

4.1 Réglementation dans le domaine nucléaire

Code de l'environnement : textes issus de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 *relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (dite « TSN ») codifiée*

C'est la première loi spécifique dans le domaine du nucléaire et concerne en particulier les INB et les transports de substances radioactives en *« raison des risques ou inconvénients qu'ils peuvent présenter pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement »*[1]**.**

La loi « TSN » a été codifiée par l'ordonnance n° 2012-6 du 5 janvier 2012 au sein du Code de l'environnement (Livre Ier et livre V). Il convient donc de viser désormais les articles du Code de l'environnement et non plus ceux de la loi « TSN » (*cf.* annexe 5.3).

Les dispositions tirées de cette loi revêtent une grande importance car :

- elles réforment la gouvernance de la sûreté nucléaire en créant une autorité administrative indépendante[2], à savoir : **l'Autorité de Sûreté Nucléaire ASN**[3],
- elles donnent une base législative à la définition des INB et précise le régime juridique applicable aux autres installations implantées dans le périmètre d'une INB (*cf.* encart),
- elles fondent sa politique sur une **approche intégrée** de la réduction des nuisances et des pollutions,
- elles reprennent les principes fondamentaux auxquels doivent satisfaire les activités présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants (principes de justification, limitation, optimisation de la Directive EURATOM 96/29),
- elles renforcent la transparence et notamment l'information du public[4],
- elles assurent le fondement légal des **Commissions Locales d'Information** CLI[5] crée le Haut Comité pour la Transparence et la Sécurité Nucléaire HCTSN[6],
- elles durcissent les sanctions administratives[7] et pénales[8].

Avec la création de l'ASN, les compétences de sûreté nucléaire et de radioprotection au sein du gouvernement sont confiées à la Direction Générale de la Prévention et des Risques (DGPR) placée sous l'autorité des ministres chargés de l'environnement, de l'industrie et de la santé. Pour assister les ministres chargés de ces questions, la Mission de Sûreté Nucléaire et de radioprotection (MSNR) a été créée.

Cette législation introduit un changement majeur en ce qui concerne la procédure de création et l'exploitation des INB.

Jusqu'en 2006 (sous l'empire du décret de 1963[9]), **deux** types d'autorisation étaient nécessaires pour la création et pour les prélèvements d'eau et les rejets :

- une autorisation délivrée par le Décret d'Autorisation de Création (DAC) portant sur les aspects de sûreté nucléaire,
- une autorisation sous la forme d'un arrêté interministériel relatif aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents (suivant le décret du 4 mai 1995[10]).

Depuis 2006, il y a **une** autorisation principale délivrée après **enquête publique** et avis de l'ASN : le **Décret d'Autorisation de Création (DAC)**. Le DAC couvre notamment les aspects « sûreté », comme auparavant, mais aussi les prélèvements d'eau et les rejets (*cf.* §5).

Des prescriptions complémentaires au DAC sont délivrées par l'ASN sur les prélèvements d'eau et les rejets, mais aussi sur les nuisances sonores et les moyens de contrôle de l'installation et de surveillance de ses effets sur l'environnement. Par ailleurs, le DAC d'une installation nucléaire de base susceptible de rejeter des substances radioactives ne peut être accordé qu'après réception de l'avis de la Commission européenne au titre de l'article 37 du traité EURATOM.

Pour les installations nucléaires de base, le **décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007** vient préciser les procédures administratives à suivre et **l'arrêté du 7 février 2012**, applicable à partir du 1er juillet 2013, établit les règles générales applicables aux INB.

1. Art. L. 593-1 du Code de l'environnement ex-art. 28-I de l'ex-loi.
2. Les Autorités Administratives Indépendantes (AAI) sont des institutions de l' état qui diffèrent de l'administration traditionnelle dans le sens où elles ne sont pas sous la tutelle d'un ministère (*cf.* chapitre 11).
3. Art. L. 592-1 à L. 592-40 du Code de l'environnement (ex Art. 3 et 4 de l'ex-loi).
4. Art. L. 125-10-1 à L. 125-16 du Code de l'environnement (ex-art. 19 et 21 de l'ex-loi).
5. Art. L. 125-17-1 à L. 125-33 du Code de l'environnement (ex-art. 22 de l'ex-loi).
6. Art. L. 125-34 à L. 125-40 du Code de l'environnement (ex-art. 23 et 27de l'ex-loi).
7. Art. L. 596-14 à L. 596-22 du Code de l'environnement (ex-art. 41 et 44 de l'ex-loi).
8. Art. L. 596-27 à L. 596-31 du Code de l'environnement (ex-art. 53 et 56 de l'ex-loi).
9. Voir paragraphe suivant.
10. Voir paragraphe suivant

Décret n° 2007-1557 du 2 novembre *2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives*

Ce décret abroge le décret n° 63-1228 du 11 décembre 1963 relatif aux installations nucléaires précité et le décret n° 95-540 du 4 mai 1995 relatif aux rejets liquides et gazeux et aux prélèvements d'eau des INB. Il porte principalement sur les **procédures administratives** à suivre pour la création d'une INB, sa mise en service, sa modification, sa mise à l'arrêt définitif et son démantèlement. Il définit aussi les dispositions relatives aux autres installations situées dans le périmètre d'une INB qui répondent aux critères de classement de la nomenclature ICPE ou de la nomenclature « eau » (IOTA[1]).

Principaux articles du décret du 2 novembre 2007 relatif aux INB

Art. 7 à 19 : *Dispositions relatives à la création d'une INB*

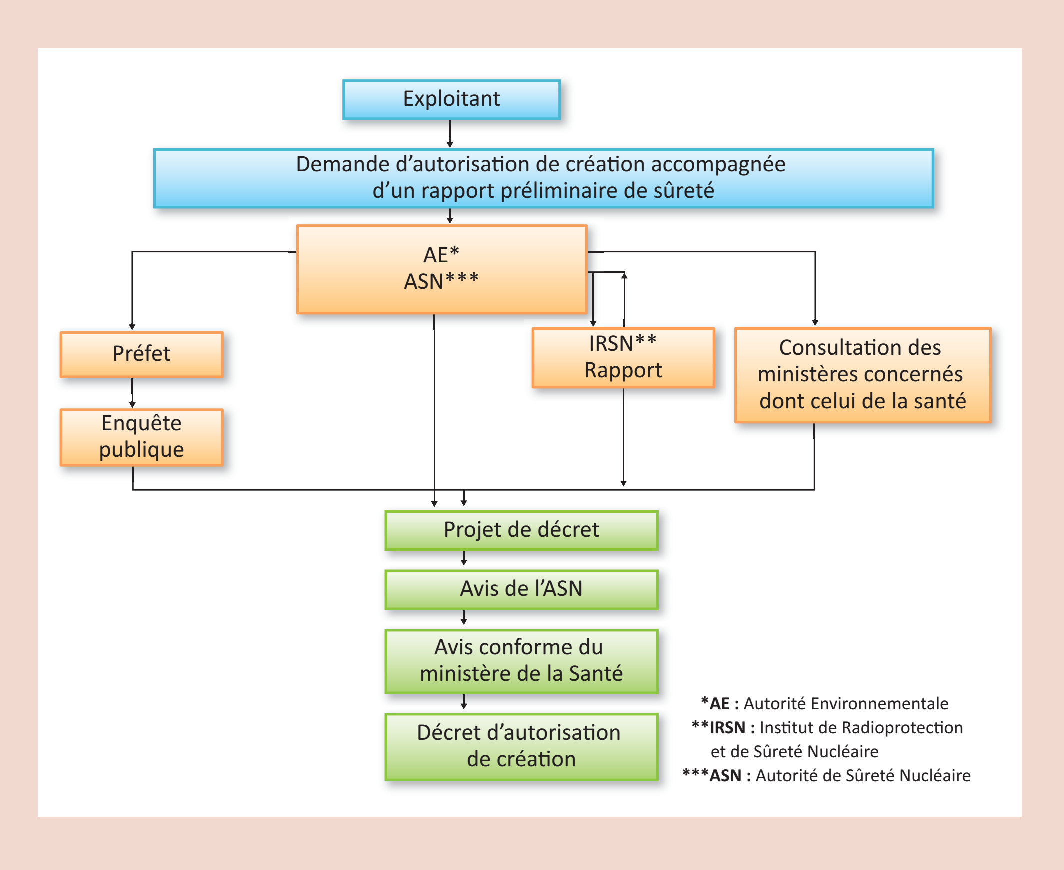
Ces articles concernent :

- le dépôt du dossier de demande d'autorisation de création comportant un certain nombre de pièces (étude d'impact, études de maîtrise des risques, le rapport préliminaire de sûreté qui tient lieu d'étude de dangers, le plan de démantèlement,…),
- les modalités d'instruction du dossier par les ministres chargés de la sûreté nucléaire,
- l'organisation de **l'enquête publique**,
- l'obtention du décret d'autorisation de création (définit le périmètre de l'INB, délai de mise en service de l'installation, éventuellement la durée de l'autorisation si celle-ci est accordée pour une durée limitée),
- les prescriptions à caractère technique de l'ASN pour l'application du DAC qui sont soumises pour avis au CoDERST et observations à la CLI (ex. prélèvements d'eau, rejet, surveillance de l'environnement, limitations des nuisances sonores…).

En particulier,

L'article 9 apporte les précisions et compléments au contenu de l'étude d'impact, qui depuis la parution du décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact, correspond à celui de droit commun tel que prévu au Code de l'environnement (R. 122-5) (*cf.* chapitre 8 du guide).

L'article 18 précise la procédure en vue d'établir les prescriptions (sous la forme de décisions de l'ASN). Dans le cas où les prescriptions concernent les limites de rejet, celles-ci doivent être homologuées par les ministres en charge de la sûreté.



1. IOTA : Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements visés par la loi sur l'eau.

Art. 20 à 22 : *Dispositions relatives à la mise en service d'une INB*

Ces articles portent sur :

- le dépôt d'un dossier comprenant notamment le rapport de sûreté, les Règles Générales d'Exploitation (RGE), le Plan d'Urgence Interne en cas d'incident ou d'accident (PUI) ; ce dossier peut être instruit en parallèle du dossier DAC,
- la délivrance de l'autorisation par une décision de l'ASN qui fait l'objet d'une mention au Bulletin Officiel de l'ASN. Elle est notifiée à l'exploitant et communiquée aux ministres chargés de la sûreté nucléaire et au préfet.

Art. 25 à 27 : *Dispositions relatives aux modifications d'exploitation*

L'article 25 décrit la procédure à suivre en cas de modification des prescriptions à l'initiative de l'Autorité de sûreté. Cet article prévoit aussi le traitement des situations exceptionnelles (sécheresse, canicule, situation d'urgence…).

L'article 26 décrit la procédure à suivre en cas de modification « non notable » de l'installation ou modification des RGE, du PUI ou des conditions d'exploitation à l'initiative de l'exploitant (déclaration à l'ASN). Le recours à l'article 26 ne suppose pas d'enquête publique, mais le cas échéant une mise à disposition du public.

L'article 27 dispense l'exploitant de la déclaration préalable (l'article 26), après décision de l'ASN, en cas d'« opération d'importance mineure ». À ce titre, l'exploitant est tenu d'établir une liste des opérations qu'il considère mineures et de rédiger un dossier précisant les conditions d'un contrôle interne (qualité, autonomie, transparence, …). Ces éléments sont soumis à l'approbation de l'ASN.

Art. 29 à 33 : *Disposition relatives à la modification du DAC initial*

L'article 31 définit la démarche à suivre en cas de modification « notable » de l'INB (par exemple, accroissement de la capacité de production, modification des éléments essentiels touchant la sûreté, l'environnement, …). Ceci conduit à modifier le DAC et donc implique le passage en enquête publique.

Art. 57 à 59 : *Dispositions relatives aux autres installations situées à l'intérieur et à l'extérieur du périmètre de l'INB*

Ces articles précisent l'articulation des régimes INB et ICPE

À **l'intérieur du périmètre de l'INB**, deux régimes juridiques coexistent (*cf.* §5) :

- les équipements et installations (**non nécessaires** au fonctionnement de l'INB) restent soumis à leur propre régime (ICPE, loi sur l'eau (IOTA), …). Toutefois, le décret prévoit que l'autorité compétente en matière de décision individuelle et de contrôle est, dans ce cas, l'Autorité de sûreté nucléaire au lieu du préfet. Cette disposition qui confère à une autorité unique, l'ASN, la police de l'ensemble des installations situées au sein du périmètre de l'INB, répond au souci d'assurer la cohérence des prescriptions applicables au sein du périmètre (art. 57),
- les équipements et installations **nécessaires** à l'INB qui répondent aux critères de classement ICPE ou IOTA (par exemple le stockage ou l'emploi d'hydrogène, ou encore le dépôt et le stockage de substances radioactives de haute activité) sont réputés faire partie de l'INB et sont entièrement soumis aux dispositions de l'ex-loi TSN codifiée et de son décret d'application du 2/11/2007 (Art. 25 ou 26 notamment).

En dehors du périmètre de l'INB, les matériels, équipements et activités sont réglementées par textes relatifs aux ICPE, à la protection de l'environnement et de la santé publique.

Arrêté du 7 février 2012 *fixant les règles générales relatives aux Installations Nucléaires de Base (arrêté « INB »)*

Cet arrêté couvre un champ très large puisqu'il vise à protéger les « intérêts » mentionnés à l'article L. 593-1 du Code de l'environnement (ex. article 28 I de la loi TSN du 13 juin 2006). Il concerne le management de la sûreté, l'information du public, la maîtrise des risques d'accident, la **maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et sur l'environnement**, la gestion des déchets, les situations d'urgence.

Il s'applique à toutes les phases de la « vie » d'une INB de la conception jusqu'au démantèlement, en passant par la construction, le fonctionnement, l'entretien et la surveillance des installations et la mise à l'arrêt définitif.

L'arrêté reprend et actualise certaines dispositions de l'arrêté du **10 août 1984** relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des INB (dit « arrêté qualité »), l'arrêté du **26 novembre 1999** fixant les prescriptions techniques générales relatives aux limites et modalités des prélèvements et des rejets soumis à autorisation, effectués par les INB et l'arrêté du **31 décembre 1999** fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des INB (*cf.* encart). Ces textes sont abrogés

au 1er juillet 2013, date d'entrée en vigueur de l'arrêté du 7 février 2012 (sauf dispositions particulières).

Il étend aux INB des dispositions applicables aux ICPE/IOTA (*cf.* arrêtés listés en annexe II de l'arrêté INB), notamment en matière de limites de rejet et de surveillance de l'environnement et fournit, par ailleurs, des définitions sur des termes-clés tels que « fonctionnement normal » ou « en mode dégradé », « effluent », « événements significatifs », « incident ou accident », …

Ces exigences peuvent être complétées par des décisions réglementaires à caractère technique de l'ASN.



Arrêté 7 février 2012 dit « INB » fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base

En établissant un lien entre sûreté nucléaire, radioprotection du public et protection de l'environnement, cet arrêté constitue dorénavant, avec la réglementation relative à l'eau et aux ICPE, la base réglementaire sur laquelle les dispositions propres à chaque centrale nucléaire sont établies s'agissant des prélèvements d'eau et des rejets (*cf.* §5). L'arrêté est structuré en neuf titres, dont notamment :

Le titre II *Organisation et la responsabilité* concernant **:**

- la politique en matière de protection des intérêts mentionnés par la loi (sécurité, santé et salubrité publiques, protection de la nature et de l'environnement) que l'exploitant tient à la disposition de l'ASN dans un document,
- le système de management intégré que l'exploitant met en place afin de respecter les exigences précitées. Ce système précise par ailleurs les dispositions mises en œuvre en termes d'organisation et de ressources de tout ordre pour répondre aux objectifs de protection des intérêts mentionnés par la loi. Il comporte également des dispositions relatives aux traitements des éventuels écarts, au retour d'expérience et à la définition d'indicateurs d'efficacité et de performance,
- l'amélioration continue des pratiques,
- les modalités d'information du public.

Le titre IV *Maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement avec des dispositions sur :*

- les prélèvements d'eau et des rejets d'effluents dans l'air et dans l'eau,
- la surveillance,
- la prévention des nuisances (odeur, bruit…),
- l'information de l'autorité de contrôle.

Le titre IX *Dispositions transitoires et finales* qui abroge à la date du **1er juillet 2013 :**

- l'arrêté du 10 août 1984 modifié relatif à la qualité de la conception, de la construction et l'exploitation des INB,
- l'arrêté du 26 novembre 1999 fixant les prescriptions techniques générales relatives aux limites et aux modalités de prélèvements et des rejets soumis à autorisation, effectués par les INB. Ses prescriptions portent sur :
  - les limites et les conditions techniques des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents liquides et gazeux,
  - les moyens d'analyse, de mesure et de contrôle des ouvrages, des installations ou activités autorisées et de surveillance de leurs effets sur l'environnement,
  - les conditions dans lesquels l'exploitant rend compte à l'Administration,
  - les contrôles effectués par celle-ci,
  - les modalités d'information du public.
- l'arrêté du 31 décembre 1999 modifié fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et à limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des INB. Cet arrêté fixe en particulier des prescriptions pour éviter les pollutions des sols et des nappes sous-sols à cause de fuites sur les matériels véhiculant des substances chimiques ou radioactives (renforcement du confinement par la mise en place de rétentions, ...).

4.2 Réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Code de l'environnement : textes issus de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 *relative aux ICPE (prévention et nuisances), articles L. 511-1 et suivants, D. 511-1 et suivants et R. 511-9 et suivants*

Les centrales nucléaires sont concernées par la réglementation applicable aux ICPE pour tous les équipements et installations **non nécessaires** à leur fonctionnement, ainsi que pour les équipements et installations **situés à l'extérieur** du périmètre de l'INB (*cf.* §5).

La réglementation sur les ICPE est fondée sur une **approche intégrée** de la protection de l'environnement, elle s'intéresse aussi bien aux problèmes de pollution de l'eau et de l'air qu'aux risques, aux déchets et aux nuisances diverses (odeur, bruit, ...) résultant des activités industrielles ou autres inscrites sur une liste (nomenclature) fixée par l'article R. 511-9 du Code de l'environnement.

La nomenclature ICPE soumet les installations classées à **autorisation** ou à **déclaration** suivant la gravité des dangers ou inconvénients que peut présenter leur exploitation. Un régime d'**enregistrement** (« autorisation simplifiée »), intermédiaire entre les deux précédents, a été créé par l'ordonnance 2009-663 du 11 juin 2009 relative à l'enregistrement de certaines ICPE.

Le Code de l'environnement définit la procédure administrative relative au régime d'autorisation, d'enregistrement et de déclaration. Il précise également les exigences en matière d'**études d'impact** et d'**étude de dangers** à fournir avec le dossier de demande d'autorisation ICPE soumis à **enquête publique**.

4.3 Textes sur l'eau et les milieux aquatiques

Les textes législatifs et réglementaires relatifs à l'eau sont importants, s'agissant des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents des centrales nucléaires, car les textes (arrêté d'autorisation, décisions ASN) fixant les prescriptions et les limites applicables aux centrales nucléaires s'y réfèrent (*cf.* §5).

Code de l'environnement : textes issus de la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 *sur l'eau et les milieux aquatiques, dite « LEMA », codifiée aux articles L. 210-1 et suivants et R. 211-1 et suivants du Code de l'environnement*

Cette loi – qui comprend 102 articles – et les textes qui en découlent, rénovent le cadre global défini par les lois antérieures de 1964 et de 1992. Ceux-ci ont pour principaux objectifs de :

- répondre aux enjeux de la politique européenne de l'eau afin d'atteindre en 2015 le « bon état » des eaux défini par la Directive européenne (DCE) en fixant notamment des objectifs de qualité d'eau pour chaque bassin hydrographique dans les Schémas Directeurs d'Aménagement de Gestion de l'Eau (SDAGE),

Textes en lien avec la loi de 1976 codifiée sur les ICPE

Niveau national

- Code de l'environnement (art. L. 511-1 et suivants, D. 511-1 et suivants) sur les **procédures administratives** précisant notamment les notions d'enquête publique, d'étude d'impact et d'étude de dangers.
- Code de l'environnement (art. R. 511-9 et suivants) sur la **nomenclature** des activités visées par cette loi ICPE (*cf.* rubrique 2910 sur les TAC et moteurs diesels de secours).
- Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements d'eau et la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des ICPE soumises à autorisation.
- Ordonnance 2000-914 du 18 septembre 2000 abrogeant la loi 76-663 du 19 juillet 1976. Son contenu est codifié dans le livre V titre 1er du Code de l'environnement.

Niveau communautaire

La loi de 1976 sur les ICPE a apporté certains principes (approche intégrée, notions d'études d'impact et d'étude de dangers) et joué un rôle précurseur pour plusieurs directives européennes. Mais elle a su aussi évoluer sous l'impulsion communautaire, notamment :

- la Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (qui reprend la Directive dite IPPC de 1996 et 2008) renforce le concept d'« approché intégrée » faisant obligation aux États membres de prendre des mesures appropriées de réduction des pollutions en ayant recours aux Meilleures Techniques Disponibles (MTD) ;
- la Directive SEVESO de 1982 modifiée en 1996 (SEVESO II) et en 2006 (SEVESO III) sur la maîtrise des risques.

Les centrales nucléaires peuvent être concernées par ces textes.

Objectifs de débits d'étiage, d'alerte et de crise définis dans les SDAGE

La disponibilité des ressources en eau étant variable dans le temps et suivant les lieux, les objectifs de débit des SDAGE sont établis en distinguant :

- les conditions pour lesquelles il est possible et nécessaire de concilier normalement les besoins des usagers et les exigences des milieux,
- de celles, **plus exceptionnelles**, à partir desquelles des défaillances apparaissent et où il faut gérer les risques de pénurie et chercher à les réduire en proposant des mesures structurantes.

Dans les SDAGE, il existe un réseau de points stratégiques, appelés points nodaux, où sont fixées, outre le Débit d'Objectif d'Etiage (DOE), les valeurs des Débits Seuils d'Alerte (DSA) et de crise (DSR). Les points nodaux correspondent à des stations de mesure de débit situées, soit à l'aval des unités hydrographiques, soit en d'autres points intéressants pour leur caractère singulier (principale confluence, prise d'eau, rejet, barrage, ...).

Équilibre « besoins – ressources en eau »

Le Débit Objectif d'Etiage (DOE) est le **débit moyen mensuel** permettant de satisfaire tous les besoins en moyenne huit années sur dix et d'atteindre le bon état des eaux. Sa valeur est fixée au débit moyen **mensuel de récurrence 5 ans (QMNA 5)**, qui correspond à la plus faible moyenne sur l'année des débits mensuels d'étiage de fréquence quinquennale et qui constitue la référence pour les objectifs de qualité et pour l'application de la réglementation en matière de rejet et de prélèvement.

Gestion de crise en période de sécheresse

Le Débit Seuil d'Alerte (DSA) est le **débit moyen journalier** en dessous duquel un usage ou une fonction de la rivière ne peut plus être assuré dans des conditions normales. Ce seuil constitue un signal à partir duquel des dispositions à caractère volontaire ou faiblement contraignant peuvent être envisagées de manière à ne pas atteindre le niveau de crise (DCR), si la situation s'aggrave.

Le Débit de Crise (DCR) est **le débit moyen journalier** en dessous duquel ne sont plus garantis les besoins indispensables en eau potable pour la vie humaine et animale, ceux relatifs à la survie des espèces piscicoles les plus intéressantes et à l'activité économique.

- prendre en compte l'enjeu sociétal en proclamant un droit à l'eau pour tous,
- répondre aux attentes du public et des usagers de l'eau en matière d'information,
- préserver les milieux aquatiques par une gestion en quantité et qualitative de l'eau, ce qui suppose d'assurer les **continuités écologiques** tant pour les migrations de certaines espèces que pour le transit des sédiments (*cf.* encart sur les objectifs de débit).

Ces textes modifient l'organisation institutionnelle, notamment les Agences de l'eau et le Conseil supérieur de la pêche, dans le sens d'une meilleure efficacité.

Volet organisationnel

- La LEMA confirme le principe de la **gestion par bassin hydrographiques**[1] et l'idée de gouvernance à laquelle sont associés les usagers.
- Elle révise la composition des **Comités de bassin** : 40 % pour les collectivités territoriales, 40 % pour les usagers (où figurent les représentants des entreprises), 20 % pour l'État.
- Elle simplifie et renforce la **police de l'eau** en créant notamment un **Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques** (ONEMA) qui se substitue au Conseil supérieur de la pêche.
- Les missions des six **Agences de l'eau** sont précisées et concernent en particulier la mise en œuvre des SDAGE et de leur déclinaison au niveau local dans les SAGE élaborés par les Commissions Locales de l'Eau (CLE).
- La portée juridique des Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE) est renforcée : ceux-ci sont opposables aux tiers.

Volet financier

- La LEMA donne au Parlement le pouvoir de fixer les règles concernant, l'assiette, les taux plafond, les modalités de recouvrement ainsi que les critères qui permettront aux Comités de Bassin de moduler les taux des redevances notamment celles portant sur les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents (*cf.* chapitre 11 du guide).

Nomenclature « eau »

à l'image de la nomenclature des ICPE, il existe une nomenclature « eau » qui établit la liste des Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements (IOTA) soumis à autorisation ou déclaration au titre de la LEMA (R. 214-1 du Code de l'environnement).

Au total, une soixantaine de textes sont concernés par la réglementation sur l'eau et les milieux aquatiques.

1. Six bassins hydrographiques : Rhin-Meuse, Adour-Garonne, Loire-Bretagne, Artois-Picardie, Seine Normandie, Rhône-Méditerranée-Corse.



Évolutions de la réglementation dans le domaine de l'eau

1964 : Loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution.

1992 : Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau a profondément modifié la loi de 1964 dont elle conserve quelques articles relatifs à la création du Comité national de l'eau, aux Agences financières de basin devenues Agences de l'eau, et aux redevances. Elle a notamment pour objectifs une gestion globale et équilibrée de l'eau, la lutte contre les pollutions et le gaspillage et instaure pour cela une police administrative unique de contrôle de la qualité des eaux et du niveau de la ressource en eau et met en place deux systèmes de planification des usages de l'eau, à savoir, les SDAGE à l'échelle du bassin, les SAGE au niveau du cours d'eau.

2000 : Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (« DCE »).

2003-2004 : Débat national et décentralisé sur l'eau avec toutes les parties prenantes.

2004 : Transposition en droit français de la DCE, par la loi n° 2004-338 du 21 avril 2004.

2006 : Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (« LEMA ») qui rénove le cadre global défini par les lois de 1964 et 1992.

Quelques textes découlant de l'application de la « LEMA » :

- Décret n° 2007-833 du 11 mai 2007 relatif au Comité National de l'Eau.
- Décret n° 2007-443 du 25 mars 2007 relatif à l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.
- Décret n° 2007-980 du 15 mai 2007 relatif aux Comités de Bassin.
- Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface en application de l'article R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'environnement.
- Arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du Code de l'environnement.

4.4 Textes sur l'air

La réglementation française reprend les exigences de la réglementation européenne sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (règlement 2000/2037/CE du 29 juin 2000 qui interdit l'utilisation des CFC depuis 2001, et celle des HCFC à partir de 2015, pour la maintenance et l'entretien des équipements de réfrigération et de climatisation) et les gaz à effet de serre (règlement 2006/842/CE du 17 mai 2006) utilisés dans les systèmes de climatisation et de réfrigération. Les INB et les centrales nucléaires sont tenues de s'y conformer.

Les centrales nucléaires sont aussi concernées par la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie dite « LAURE » (Art. 19), qui demande d'étudier l'impact des activités humaines sur la santé publique. Ceci vise les impacts des rejets industriels et en particulier, pour ce qui est des centrales nucléaires, les émissions atmosphériques gazeuses issues d'opérations de lessivage chimique (ammoniac) ou les gaz d'échappement des turbines à combustion (TAC) de secours et les moteurs diesels de secours définis, par ailleurs, dans la rubrique ICPE n° 2910.


Centrale nucléaire de Paluel sur la Manche (160 ha).

5. Textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF

Les textes de loi de 2006 relatifs aux INB et à la protection des milieux aquatiques (LEMA) constituent un cadre législatif stable dans la durée. Il n'en est pas de même des textes réglementaires (décret, arrêté, décision) qui évoluent continuellement en devenant, au fur et à mesure, plus complexes et plus contraignants pour l'exploitant d'INB.

Pour ne pas être pris en défaut, l'exploitant met en place une organisation assurant un suivi des évolutions réglementaires, dénommé « contrôle de conformité réglementaire », afin d'adapter en permanence ses pratiques aux nouvelles exigences.

5.1 Articulation des principaux textes conduisant aux autorisations de prélèvements d'eau et de rejets

Sur la base de la réglementation en vigueur, l'administration délivre des autorisations et l'ASN fixe par décision des prescriptions réglementant :

- les prélèvements et la consommation d'eau,
- les rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux,
- les installations relevant d'un régime autonome (ICPE, IOTA...).

Ces autorisations sont délivrées, sous la forme de décrets ou de décisions de l'ASN, après instruction de la demande d'autorisation déposée par le pétitionnaire (*cf.* fig. 2).

Avant la publication de la loi TSN de 2006, les autorisations étaient délivrées d'après le décret du 11 décembre 1963 et le décret 4 mai 1995 par :

- le Décret d'Autorisation de Création (DAC) portant sur la sûreté nucléaire,
- l'arrêté interministériel sur les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents.

Depuis 2006, le Décret d'Autorisation de Création (DAC) couvre les aspects sûreté mais aussi, notamment, la protection du public et de l'environnement. Ce décret est complété par deux décisions de l'ASN, l'une fixant les limites de rejets d'effluents dans l'environnement, l'autre portant sur les modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets d'effluents. La décision de l'ASN fixant les limites de rejet est homologuée par un arrêté signé des ministres chargés de la sûreté nucléaire. À cela s'ajoutent les Règles Générales d'Exploitation (RGE) rédigées par l'exploitant et validées par l'ASN avant la mise en service des installations et, le cas échéant, à chaque modification de celles-ci. Par ailleurs, une centrale dispose d'autorisations délivrées par l'ASN ou le préfet pour les installations relevant des réglementations « ICPE », « eau », « air »… ou par l'administration chargée du domaine fluvial ou maritime pour l'occupation du domaine public. En outre, les autorisations délivrées pour les centrales frontalières doivent tenir compte des conventions ou accords internationaux passés entre les pays concernés.

5.2 Textes propres à chaque centrale nucléaire d'EDF

Prélèvement d'eau et rejets d'effluents selon la loi TSN codifiée

La procédure administrative à engager par l'exploitant afin de solliciter les autorisations nécessaires est définie par la réglementation (décret du 2 novembre 2007). À l'issue de l'instruction de cette procédure, l'administration compétente délivre les autorisations au moyen des textes ci-après (*cf.* fig. 3).

- **Le Décret d'Autorisation de Création (DAC) :** Ce décret précise, pour ce qui est de la maîtrise des impacts sur le public et l'environnement, que *« Toute disposition est prise dans la conception et l'exploitation de l'installation, en particulier par l'utilisation des meilleures technologies industrielles disponibles à un coût économiquement acceptable, pour limiter les prélèvements d'eau douce et l'impact des rejets sur les populations et l'environnement. L'exploitant assure la réalisation périodique de contrôles de l'environnement » (ex. Décret d'autorisation de création de Flamanville 3 du 10 avril 2007).*
- **La décision de l'ASN fixant les limites de rejet dans l'environnement des effluents liquides et gazeux :** Ces limites concernent :
  - les rejets des effluents radioactifs gazeux,
  - les rejets d'effluents radioactifs liquides,
  - les rejets chimiques liquides et gazeux,
  - les rejets thermiques.

  Cette décision est homologuée par un arrêté signé des ministres chargés de la sûreté nucléaire.
- **La décision de l'ASN fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux :**

Fig. 2 ➜ Articulation des principaux textes

Maîtrise des nuisances et des impacts
Réglementation INB
Réglementation ICPE (équipements non nécessaires ou hors INB)

Protection du milieu naturel
Convention OSPAR
Réseau NATURA 2000
Réglementation « eau » (Directive cadre eau, loi sur l'eau et les milieux aquatiques, IOTA, SDAGE, redevances…)

Centrale nucléaire
Textes autorisant
- la création et l'exploitation
- le prélèvement et la consommation d'eau,
- les rejets d'effluents,
- les installations soumises aux ICPE
- l'occupation du domaine public

Information du public
Loi sur la transparence et la sécurité nucléaire (TSN)

Accords transfrontaliers

Santé publique
Réglementation sur la radioprotection du public
(Directive radioprotection Directive eau potable, loi sur l'air…)

Fig. 3 ➜ Les autorisation selon la loi TSN

DAC
Décret d'autorisation de création

Décision ASN homologuée
fixant les limites de rejets d'effluents

Décision ASN
sur les modalités de prélèvements et de consommation d'eau, et de rejet d'effluents dans l'environnement

RGE
Règles générales d'exploitation



Centrale nucléaire de Flamanville (EPR en construction) sur la Manche (120 ha).

Les prescriptions de l'ASN portent notamment sur :
- les prélèvements et la consommation d'eau,
- les rejets d'effluents dans l'environnement,
- la surveillance de l'environnement autour du site,
- le contrôle exercé par les autorités,
- l'information du public.

- **Les Règles Générales d'Exploitation RGE (chapitre V des RGE)**
Les RGE étaient définies dans l'ancien décret du 11 décembre 1963 comme « *l'ensemble des dispositions techniques et organisationnelles pour minimiser le risque induit par l'exploitation d'une centrale nucléaire et le rendre acceptable pour la population et le personnel* ».

La publication du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 prévoit dans son article 20 que l'exploitant fournisse pour la mise en service des INB un dossier contenant « des règles générales d'exploitation […] pour la protection des intérêts mentionnés au I de l'article 28 de la loi du 13 juin 2006 ». Auparavant orientées principalement « sûreté », les RGE au sens du décret de 2007 couvrent un champ élargi, puisqu'elles portent également sur *la sécurité, la santé et la salubrité publique ou la protection de la nature et de l'environnement* (intérêts protégés par l'ex-loi « TSN »[1]).

Accord préalable

au titre de l'article 27 du décret
du 2 novembre 2007 relatif aux INB

Lorsqu'un accord préalable de l'ASN est requis pour effectuer des essais périodiques ou des actions de maintenance (ex. mise en indisponibilité de réservoirs de stockage d'effluents pour visite réglementaire ou épreuve hydraulique, ...), *« celui-ci peut prendre la forme d'un accord générique* ***pour le site*** *» (arrêté d'autorisation art. 2 V ou décision ASN sur les modalités de prélèvements et de rejets d'effluents).*
L'accord générique, délivré par l'ASN vise à simplifier, tant pour l'ASN que pour l'exploitant, le système fondé sur des demandes d'accord préalable formulées au cas par cas. Cette démarche repose sur la confiance que l'ASN accorde à l'exploitant dans la maîtrise de ses activités.
Pour obtenir l'accord générique, l'exploitant doit présenter un dossier dans lequel il décrit notamment :
- l'organisation mise en place dans ce cadre,
- les modalités d'information de l'ASN,
- la désignation de la personne responsable chargée d'autoriser (feu vert) le lancement de l'opération selon les conditions de l'accord générique.

1. Art. L. 593-1 du Code de l'environnement.

Elles constituent, avec le rapport de sûreté et les autres documents listés à l'article 20 du décret de 2007, l'engagement que prend l'exploitant vis-à-vis de l'ASN pour exploiter ses installations dans de bonnes conditions. Le chapitre relatif à l'environnement (chapitre V) couvre un champ plus large que les seuls prélèvements d'eau et rejets d'effluents puisqu'il porte aussi sur la gestion des déchets et la maîtrise des nuisances telles que le bruit, les odeurs…) et les risques d'incendie et de foudre.

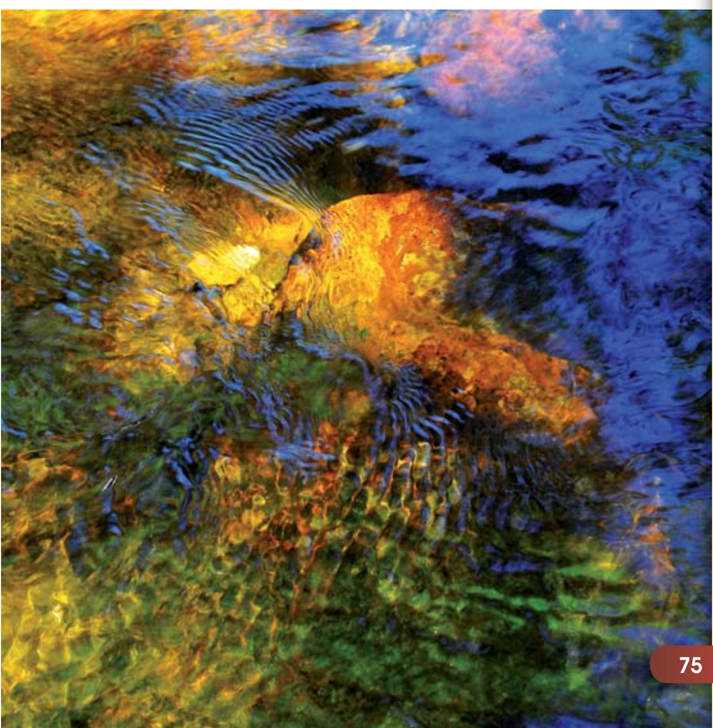
Prélèvements d'eau et rejets d'effluents selon le décret du 4 mai 1995

Les autorisations de prélèvements d'eau et de rejets accordées aux centrales nucléaires **avant la publication de la loi « TSN » de 2006** relevaient notamment des dispositions du décret n° 95-540 du 4 mai 1995 relatif aux rejets d'effluents liquides et gazeux et aux prélèvements d'eau des installations nucléaires de base et de l'arrêté du 26 novembre 1999 fixant les prescriptions techniques générales relatives aux limites et aux modalités des prélèvements et des rejets soumis à autorisation, effectués par les installations nucléaires de base. Ces autorisations restent applicables.

Autres prescriptions applicables

Pour certaines activités, les centrales nucléaires sont réglementées au moyen :
- d'**arrêtés préfectoraux** pour les activités réalisées à **l'extérieur du périmètre de l'INB** (ex. opération de dragage et curage du cours d'eau qui relève du Code de l'environnement (domaine de l'eau-IOTA ou réglementation ICPE),
- de prescriptions particulières de l'ASN sous forme de décision en ce qui concerne les installations et des équipements situés à **l'intérieur de l'INB** mais **non nécessaires** à son fonctionnement (réglementation ICPE/IOTA).


©EDF – Miroir Nicolas



Occupation du domaine public fluvial et maritime

Pour les centrales nucléaires dont les ouvrages de prises d'eau et de rejets sont construits sur le domaine public, il est nécessaire d'obtenir de la part de l'administration compétente une autorisation ou une concession d'occupation du domaine public notamment au titre du Code général de la propriété des personnes publiques (*cf.* tab. I).

Tab. I Administration chargée du domaine public

	Cours d'eau navigables (centrales sur le Rhône, le Rhin, la Moselle, la Meuse, la Seine, la Garonne)	Cours d'eau non navigable (centrales du Val de Loire)	Domaine maritime Centrales marines ou en estuaire
Administration compétente	Voies Navigables de France (VNF)	Direction Départementale de l'Equipement (DDE)	Port autonome ou Direction Départementale de l'Equipement maritime

Évolution des autorisations en matière de prélèvements d'eau et de rejets

Autorisations délivrées après 2006 au titre de le la loi « TSN » codifiée en 2012

Depuis 2006 au titre de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et la sécurité en matière nucléaire (« TSN ») et des décrets d'application, notamment le décret du 2 novembre 2007 (« procédures »).

- Décret d'Autorisation de Création (DAC).
- Décision de l'ASN, homologuée par arrêté des ministres chargés de la sûreté nucléaire, fixant les limites de rejets dans l'environnement des rejets liquides et gazeux.
- Décision de l'ASN fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvements et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement d'effluents liquides et gazeux.
- Règles générales d'exploitation de l'exploitant validées par l'ASN.

Autorisation délivrées avant 2006 au titre du décret du 4 mai 1995 (concerne plusieurs centrales)

1995 à 2006 au titre du décret n°95-540 du 4 mai 1995 modifié relatif aux INB

- Décret d'autorisation de création (DAC) comprenant de prescriptions générales sur les rejets,
- Arrêté interministériel unique réglementant les prélèvements d'eau et les rejets.

Autorisations délivrées avant 1995 (plus de centrales nucléaires concernées après le renouvellement des autorisations de Bugey et Fessenheim)

Avant 1995 au titre des décrets n° 74-945 du 6 novembre 1974 et n° 74-1181 du 31 décembre 1974, des arrêtés associés du 1er août 1976 pour ce qui est des rejets radioactifs gazeux et liquides, des décrets d'application de la loi sur l'eau de 1992 et de décrets antérieurs à cette loi pour les rejets chimiques et thermiques.

- Arrêté ministériel autorisant les rejets radioactifs gazeux.
- Arrêté ministériel autorisant les rejets radioactifs liquides.
- Arrêté préfectoral autorisant le prélèvement d'eau voir, le cas échéant l'occupation du domaine public fluvial.
- Arrêté préfectoral autorisant les rejets chimiques et thermiques.

Bibliographie

- ASN, Revue Contrôle ASN n° 177, nov. 2007.

Pour en savoir plus

- http://www.legifrance.gouv.fr
- http://www.industrie.gouv.fr
- http://www.ecologie.gouv.fr
- http://www.asn.fr
- http://www.eau-seine-normandie.fr/

Annexe 5.1

Tableau récapitulatif des principaux textes réglementaires

Type d'activité ou d'équipement	Textes réglementaires s'appliquant directement à l'exploitant	Réglementation française	Droit communautaire	Textes internationaux
Création et exploitation d'une INB	**Décret d'Autorisation de Création** (DAC) définissant le périmètre de l'INB et les aspects liés à la sûreté, à la radioprotection et à l'environnement	**Droit nucléaire** Code de l'environnement : textes issus de la loi TSN du 13/06/2006 relative à la transparence et la sécurité en matière nucléaire Décret du 2/11/2007 relatif aux INB et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives (procédure d'autorisation de création et d'exploitation) Arrêté du 7/02/2012 fixant les règles générales relatives aux INB • Maîtrise des nuisances et de l'impact pour le public et l'environnement, • Information du public, • Information de l'autorité de contrôle. *Nota : cet arrêté abroge les arrêtés des 10/08/1984, 26/11/1999 et 31/12/1999 relatifs aux INB à compter du 1/07/2013. date de son entrée en vigueur (sauf dispositions particulières).*	**Domaine nucléaire** Traité EURATOM Directive 96/29/ EURATOM du 13 mai 1996, fixant les normes de base relatives à la protection de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants **Information du public** Directive 2003/4 /CE concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement du 28 janvier 2003 Directive 2003/35/CE prévoyant la participation du public lors de l'élaboration de certains plans et programmes relatifs à l'environnement **Protection des écosystèmes** Directive 79/409/CEE du 2/04/79 « Oiseaux » Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 « Habitats » : • réseaux **NATURA 2000** Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 « cadre sur l'eau » (« DCE ») et directives « filles » sur notamment • les substances chimiques dangereuses, • les normes de qualité de l'eau, • la protection des eaux souterraines. **Lutte contre les nuisances** Règlement 1907/2006/CE du 18 décembre 2006 « REACH » (fabrication de substances chimiques) Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrée des pollutions par la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles (ex directive 2008/1/CE dite « IPPC ») Directives 82/501/CE ; 96/82/CE ; 2003/105/CE SEVESO (maîtrise des risques)	**Information du public** Convention Aarhus du 25 juin 1998 (*cf.* chapitre 4 du guide) **Protection des écosystèmes** Convention de Ramsar du 2 février 1971 sur les zones humides (*cf.* chapitre 3 du guide) Convention de Rio du 3 juin 1992 sur la diversité biologique (*cf.* chapitre 3 du guide) Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est, dite « OSPAR » (*cf.* chapitre 3 du guide) Protocole d'Athènes du 17 mai 1980 (Méditerranée) **Prévention et réduction des nuisances** Protocole de Montréal du 16 septembre 1987 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (CFC ; HCFC…) **Accords transfrontaliers** Accord de Gand sur la Meuse du 3 décembre 2002 (concerne la **centrale nucléaire de Chooz**) Convention de Berne du 12 avril 1999 pour la protection du Rhin (concerne les **centrales nucléaires de Fessenheim et de Cattenom**)
Exploitation d'une INB **Prélèvements et consommation d'eau et rejets d'effluents**	**Depuis 2006** **Décision de l'ASN homologuée** fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux. Cette décision est homologuée par arrêté signés par les ministères chargés de la sûreté nucléaire **Décision de l'ASN** sur les modalités de prélèvements et consommation d'eau et de rejets d'effluents liquides et gazeux dans l'environnement **Règles Générales d'Exploitation (RGE)** rédigées par l'exploitant et validées par l'ASN **Avant 2006** **Décret d'autorisation de création** **Arrêté interministériel** sur les prélèvements d'eau et rejets d'effluents liquides et gazeux			
Exploitation d'équipement ou d'ouvrage non nécessaire à l'exploitation de l'INB mais à l'intérieur du périmètre INB	**Décision ASN**	**Droit commun** (Code de l'environnement et Code de la santé publique) • Réglementation ICPE (prévention des nuisances, …) : arrêt du 2/02/1998 • Loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30/06/2006 (IOTA, SDAGE, SAGE, redevances, police de l'eau…) • Loi sur l'air du 30/12/1996 • Protection de la nature et de la biodiversité : sites **NATURA 2000,** DOCOB, … • Réglementation des produits biocides (décret du 26 février 2004)		
Exploitation d'équipement ou d'ouvrage situé à l'extérieur du périmètre INB	**Arrêté préfectoral**			
Occupation du domaine public fluvial ou maritime	**Arrêté de l'administration chargée de la gestion du domaine**			

Annexe 5.2

Nature des différents types de textes législatifs et réglementaires

Droit international de l'environnement

Traité : Acte écrit par lequel des États établissent des règles créant des droits et obligations. Il doit être ratifié (par le Parlement ou par référendum en France) pour produire ses effets de droit et devenir ainsi un instrument obligatoire liant les parties signataires.

Convention : Accord de volonté entre deux ou plusieurs États sur un objet ou fait précis et qui oblige les signataires au respect de son contenu (ex. Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est, dite « OSPAR ». On l'emploie actuellement d'une façon générale pour les traités multilatéraux formels dont les parties sont nombreuses.

Protocole : Acte retenu pour des accords moins formalistes que les conventions et traités. L'instrument peut revêtir différentes formes juridiques.

Droit communautaire (Union européenne)

Traité : Acte écrit par lequel des États membres établissent des règles créant des droits et obligations et ayant force obligatoire pour les parties au traité (ex. traité EURATOM pour le développement de l'énergie nucléaire en Europe, 1958).

Règlement : Acte juridique de portée générale, obligatoire en tous ses éléments, d'application directe et uniforme dans tous les États membres. Contrairement à la directive, il ne nécessite pas, pour son entrée en vigueur, l'intervention des autorités nationales compétentes.

Directive : Acte juridique adressé aux États, qui fixe des objectifs à atteindre dans un domaine donné et dans un délai prescrit. La Directive laisse aux États une « relative » liberté dans le choix de l'acte juridique de transposition en droit national dans la mesure où la directive contient une obligation de résultat et non une obligation de moyen. Si ses termes sont suffisamment clairs et précis, la Directive est opposable aux tiers, même à défaut de transposition en droit national dans les délais requis.

Décision : Acte juridique à caractère individuel, applicable à l'État membre, à l'entreprise ou à l'individu visé par elle. Ce sont des mesures individuelles d'exécution qui n'ont pas de portée normative.

Avis et recommandation : Les avis et recommandation expriment une opinion du Parlement européen, ou de la Commission européenne. Ils n'ont pas de portée obligatoire.

Livre vert : Les groupes d'intérêt (ONG, ...) et les lobbies (entreprises, industriels) prennent une part importante dans le travail préparatoire à l'élaboration de la réglementation européenne. Ce travail peut conduire à la rédaction de livres verts qui rassemblent la réflexion menée dans ce cadre sur un thème donné.

Livre blanc : Le livre vert de réflexion peut déboucher sur un livre banc de stratégie qui est adopté par les instances communautaires. Cette stratégie préfigure le cadre de la nouvelle réglementation européenne du domaine visé (ex. Stratégie pour la future politique dans le domaine des substances chimiques, 2001).

Droit français

Loi : Règle écrite, générale et permanente, élaborée par le Parlement (Assemblée nationale et Sénat), promulguée par le Président de la République et publiée au Journal Officiel de la République afin qu'elle entre en vigueur.

La loi est applicable à tous, elle définit les droits et les devoirs de chacun. Le domaine qui lui est réservé est délimité par la Constitution (article 34, ex. loi « TSN » de 2006 sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire).

Ordonnance : Mesure prise par le pouvoir exécutif (gouvernement), dans un domaine qui relève normalement de la loi. Prévues par l'article 38 de la Constitution, les ordonnances doivent être autorisées par une loi d'habilitation votée par le Parlement, qui en fixe les domaines et la durée. L'ordonnance fait donc partie du domaine législatif (une ordonnance peut également désigner une décision rendue par le Président d'un Tribunal ou par un Juge s'il a reçu délégation de celui-ci).

Décret : Acte réglementaire pris dans un domaine propre ou en application d'une loi pour en définir les modalités d'exécution. Il est

signé par le Président de la République ou par le Premier Ministre, pour toutes les matières qui ne sont pas expressément réservées à la loi, et est susceptible de recours juridictionnel devant le Conseil d'État (ex. décret d'autorisation création d'une INB).

Arrêté : Acte réglementaire pris par un ou des ministre(s), un préfet ou un maire (ex. arrêté homologuant les décisions de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les rejets des centrales nucléaires).

Circulaire : Instructions de service écrites adressées par une autorité supérieure à des agents subordonnés en vertu de son pouvoir hiérarchique (par ex. circulaire ministérielle, circulaire interministérielle, circulaire préfectorale). Elle contient généralement des instructions, recommandations, ou explications. Elle peut compléter un décret ou un arrêté, mais n'a pas de force obligatoire, étant qualifiée de circulaire interprétative. Néanmoins, dans certains cas, peu nombreux, elle peut avoir un caractère réglementaire lorsqu'elle présente le caractère de circulaire impérative (les circulaires applicables figurent sur le site Internet : www.circulaires.gouv.fr).

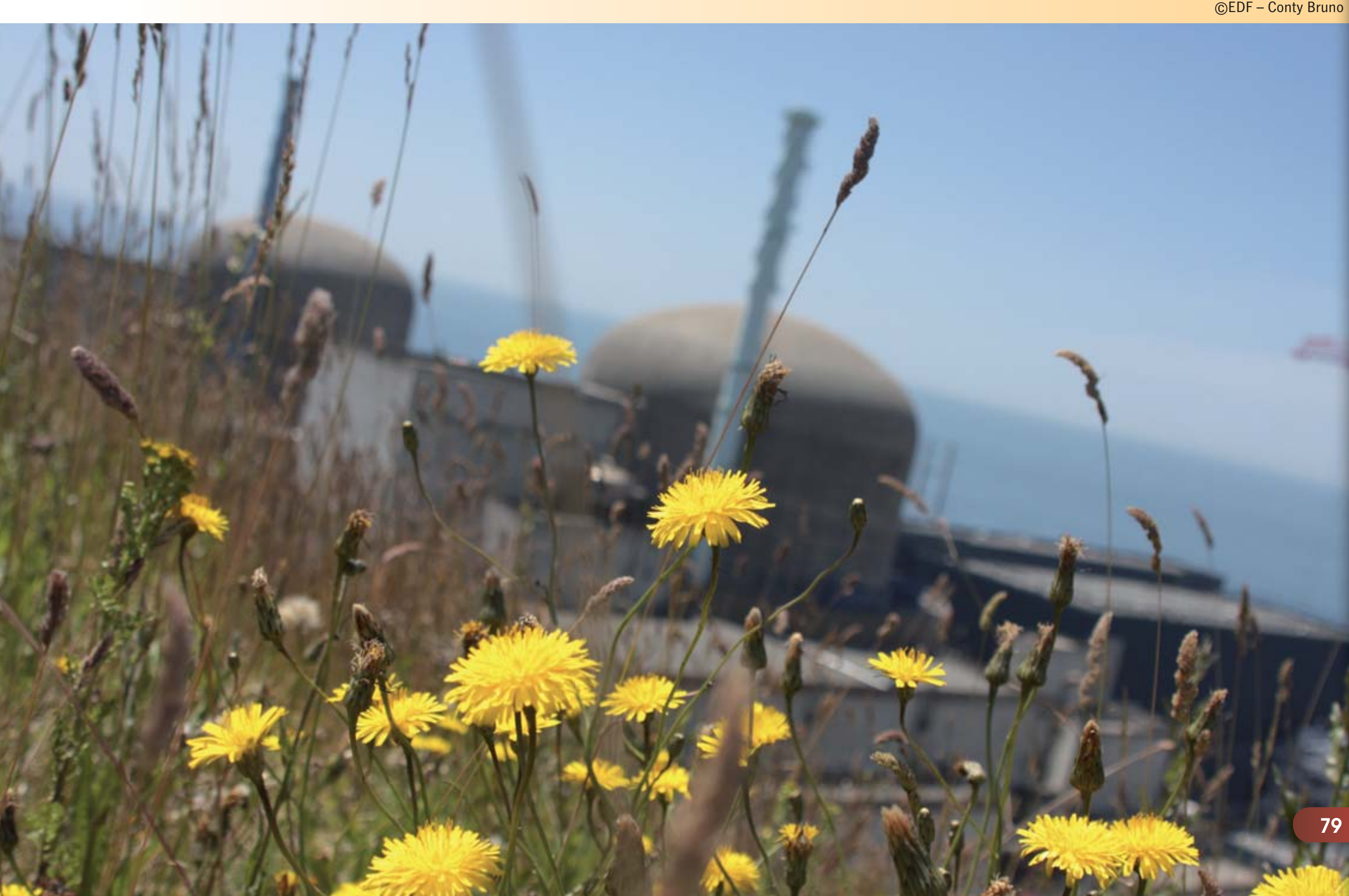
Décision de l'ASN : C'est un acte réglementaire envers l'exploitant d'une INB. Lorsque cette décision fixe les limites de rejet d'effluents, celle-ci est **homologuée** par les ministres chargés de la sûreté nucléaire. Les décisions sont publiées sur le site Internet de l'ASN.

Décision à caractère général de l'ASN : Acte réglementaire pris pour l'application des décrets et arrêtés ; elle est homologuée par les ministres chargés de la sûreté nucléaire.

Règles Générales d'Exploitation (RGE) : Les RGE, rédigées par l'exploitant, comportent notamment des éléments sur l'organisation en matière de protection de l'environnement (politique environnementale et démarche de management environnemental). Les RGE sont exigées au titre du décret « Procédures » du 2 novembre 2007 (Art. 20) et permettent à l'ASN de connaître les dispositions prises pour protéger les intérêts tels que décrits dans l'ex-loi « TSN » (Art. L. 593-1 du Code de l'environnement ex Art. 28-I de la loi : sécurité, santé, environnement, ...). Elles constituent, avec le rapport de sûreté, l'engagement de l'exploitant vis-à-vis de l'ASN pour exploiter ses installations. Les RGE sont rendues publiques (transmises avec la demande d'autorisation de mise en service). Cela ouvre un droit de regard à la Commission européenne en application de l'article 35 du traité EURATOM.

Jurisprudence : Solution suggérée par un ensemble de décisions suffisamment concordantes rendues par des juridictions judiciaires ou administratives sur une question de droit. La jurisprudence constitue ainsi une source du droit.

Code : Ensemble de dispositions normatives faisant partie d'une même branche de droit, placées dans un ouvrage. Toutes les lois ne sont pas codifiées.



Annexe 5.3

Code de l'environnement



Le **code de l'environnement** regroupe des textes juridiques relatifs au droit de l'environnement. Les articles qu'il contient sont scindés en deux parties : la partie législative (articles précédés de la lettre **L.**) ; la partie réglementaire (articles précédés de la lettre **R ou D.**). Les articles sont structurés en 7 livres et peuvent être facilement consultés sur le site Internet *www.legifrance.gouv.fr*

Table des matières susceptible d'évoluer

Livre Ier : Dispositions communes

Titre Ier : Principes généraux
Titre II : Information et participation des citoyens
Titre III : Institutions
Titre IV : Associations de protection de l'environnement et collectivités territoriales
Titre V : Dispositions financières
Titre VI : Prévention et réparation de certains dommages causés à l'environnement

Livre II : Milieux physiques

Titre Ier : Eau et milieux aquatiques et marins
Titre II : Air et atmosphère

Livre III : Espaces naturels

Titre Ier : Inventaire et mise en valeur du patrimoine naturel
Titre II : Littoral
Titre III : Parcs et réserves
Titre IV : Sites
Titre V : Paysages
Titre VI : Accès à la nature
Titre VII : Trame verte et trame bleue

Livre IV : Patrimoine naturel

Titre Ier : Protection du patrimoine naturel
Titre II : Chasse

Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances

Titre préliminaire : Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques
Titre Ier : Installations classées pour la protection de l'environnement
Titre II : Produits chimiques, biocides et substances à l'état nanoparticulaire
Titre III : Organismes génétiquement modifiés
Titre IV : Déchets
Titre V : Dispositions financières
Titre VI : Prévention des risques naturels
Titre VII : Prévention des nuisances sonores
Titre VIII : Protection du cadre de vie
Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base

Livres VI et VII concernent respectivement les territoires d'outre-mer et l'antarctique

Contenu partiel de la partie législative

Livre Ier : Dispositions communes

Titre I : principes généraux Art. L. 110-1 Art. L. 110-2

Titre II : Information et participation des citoyens

Chapitre Ier : Participation du public à l'élaboration des projets d'aménagement ou d'équipement ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire Art. L. 120-1 Art. L. 120-2

Section 1 : Missions de la Commission nationale du débat public. Champ d'application et objet du débat public Art. L. 121-1 Art. L. 121-2

Section 2 : Composition et fonctionnement de la Commission nationale du débat public Art. L. 121-3 à Art. L. 121-7

Section 3 : Organisation du débat public Art. L. 121-8 à Art. L. 121-15

Section 4 : Autres modes de concertation préalable à l'enquête publique Art. L. 121-16

Chapitre II : Évaluation environnementale

Section 1 : Études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages et d'aménagements Art. L. 122-1 et suivants

Section 2 : Évaluation de certains plans et documents ayant une incidence notable sur l'environnement Art. L. 122-4 à Art. L. 122-12

Chapitre III : Enquêtes publiques relatives aux opérations susceptibles d'affecter l'environnement

Chapitre IV : Droit d'accès à l'information relative à l'environnement Art. L. 124-1 à Art. L. 124-8

Chapitre V : Autres modes d'information

Section 2 : Dispositions propres aux activités nucléaires

Sous-section 1 : Droit à l'information Art. L. 125-10 Art. L. 125-11

Sous-section 2 : Transparence en matière nucléaire Art. L. 125-12 à Art. L. 125-16

Sous-section 3 : Les commissions locales d'information Art. L. 125-17 à Art. L. 125-33

Sous-section 4 : Le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire Art. L. 125-34 à Art. L. 125-40

Titre III : Institutions

Titre IV : Associations de protection de l'environnement et collectivités territoriales

Titre V : Dispositions financières

Titre VI : Prévention et réparation de certains dommages causés à l'environnement Art. L. 160-1

Livre II : Milieux physiques

Titre Ier : Eau et milieux aquatiques et marins Art. L. 210-1

Chapitre Ier : Régime général et gestion de la ressource Art. L. 211-1 à Art. L. 211-14

Chapitre II : Planification

Section 1 : Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux Art. L. 212-1 à Art. L. 212-2-3 (SDAGE)

Section 2 : Schémas d'aménagement et de gestion des eaux Art. L. 212-3 à Art. L. 212-11 (SAGE)

Chapitre III : Structures administratives et financières

Section 1 : Comité national de l'eau Art. L. 213-1

Section 2 : Office national de l'eau et des milieux aquatiques Art. L. 213-2 à Art. L. 213-6

Section 2 bis : Préfet coordonnateur de bassin Art. L. 213-7

Section 3 : Comités de bassin et agences de l'eau

Sous-section 1 : Dispositions générales Art. L. 213-8 Art. L. 213-8-1 Art. L. 213-8-2

Sous-section 2 : Dispositions financières Art. L. 213-9 Art. L. 213-9-1 Art. L. 213-9-2 Art. L. 213-9-3

Sous-section 3 : Redevances des agences de l'eau Art. L. 213-10

Section 4 : Organismes à vocation de maîtrise d'ouvrage

Sous-section 1 : Établissements publics territoriaux de bassin Art. L. 213-12

Chapitre IV : Activités, installations et usage

Section 1 : Régimes d'autorisation ou de déclaration Art. L. 214-1 à Art. L. 214-11

Chapitre V : Dispositions propres aux cours d'eau non domaniaux

Section 1 : Droits des riverains Art. L. 215-1 à Art. L. 215-6

Section 2 : Police et conservation des eaux Art. L. 215-7 à Art. L. 215-13

Section 3 : Entretien et restauration des milieux aquatiques Art. L. 215-14 à Art. L. 215-18

Chapitre VI : Sanctions

Section 1 : Sanctions administratives Art. L. 216-1 et suivants

Section 2 : Dispositions pénales Art. L. 216-3 à Art. L. 216-14

Chapitre IX : Politiques pour le milieu marin Art. L. 219-1 à Art. L. 219-18

Titre II : Air et atmosphère Art. L. 220-1 Art. L. 220-2

Chapitre Ier : Surveillance de la qualité de l'air et information du public

Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air Art. L. 221-1 Art. L. 221-2 Art. L. 221-3 Art. L. 221-4 Art. L. 221-5

Section 2 : Information du public Art. L. 221-6

Chapitre IV : Mesures techniques nationales de prévention de la pollution atmosphérique et d'utilisation rationnelle de l'énergie Art. L. 224-1 Art. L. 224-2 Art. L. 224-2-1

Chapitre VI : Contrôles et sanctions Art. L. 226-1

Section 2 : Sanctions Art. L. 226-6 à Art. L. 226-11

Chapitre VII : Dispositions particulières aux pollutions causées par des substances radioactives Art. L. 227-1
Chapitre IX : Effet de serre Art. L. 229-1
Section 4 : Bilan des émissions de gaz à effet de serre et plan climat-énergie territorial Art. L. 229-25 Art. L. 229-26

Livre III : Espaces naturels Art. L. 300-1 à Art. L. 300-3

Titre VII : Trame verte et trame bleue Art. L. 371-1 à Art. L. 371-6 (TVB)

Livre IV : Patrimoine naturel

Titre Ier : Protection du patrimoine naturel

Chapitre Ier : Préservation et surveillance du patrimoine naturel
Section 1 : Préservation du patrimoine naturel Art. L. 411-1 à Art. L. 411-6
Section 2 : Surveillance biologique du territoire Art. L. 411-7
Chapitre II : Activités soumises à autorisation Art. L. 412-1 Art. L. 412-2
Chapitre III : Établissements détenant des animaux d'espèces non domestiques Art. L. 413-1 à Art. L. 413-5
Chapitre IV : Conservation des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvages
Section 1 : Sites Natura 2000 Art. L. 414-1 à Art. L. 414-7 **(NATURA 2000)**
Chapitre V : Dispositions pénales
Section 1 : Constatation des infractions Art. L. 415-1 Art. L. 415-2
Section 2 : Sanctions Art. L. 415-3 Art. L. 415-4 Art. L. 415-5

Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances

Titre préliminaire : Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques
Titre Ier : Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
Chapitre Ier : Dispositions générales Art. L. 511-1 Art. L. 511-2
Chapitre II : Installations soumises à autorisation, à enregistrement ou à déclaration
Section 1 : Installations soumises à autorisation Art. L. 512-1 à Art. L. 512-6
Section 2 : Installations soumises à enregistrement Art. L. 512-7 et suivants
Section 3 : Installations soumises à déclaration Art. L. 512-8 à Art. L. 512-13
Section 4 : Dispositions communes à l'autorisation, à l'enregistrement et à la déclaration Art. L. 512-14 à Art. L. 512-20
Chapitre III : Installations fonctionnant au bénéfice des droits acquis Art. L. 513-1
Chapitre IV : Contrôle et contentieux des installations classées
Section 1 : Contrôle et sanctions administratifs Art. L. 514-1 à Art. L. 514-8
Section 2 : Dispositions pénales Art. L. 514-9 à Art. L. 514-18
Chapitre VI : Dispositions financières Art. L. 516-1 Art. L. 516-2
Titre II : Produits chimiques, biocides et substances à l'état nanoparticulaire
Chapitre Ier : Contrôle des produits chimiques Art. L. 521-1
Chapitre II : Contrôle de la mise sur le marché des substances actives biocides et autorisation de mise sur le marché des produits biocides Art. L. 522-1
Titre IX : La sécurité nucléaire et les installations nucléaires de base (INB)
Chapitre Ier : Dispositions générales relatives à la sécurité nucléaire Art. L. 591-1 à Art. L. 591-5
Chapitre II : L'autorité de sûreté nucléaire Art. L. 592-1 à L. 592-40
Chapitre III : Installations nucléaires de base
Section 1 : Régime d'autorisation Art. L. 593-1 à Art. L. 593-34
Section 2 : Installations nouvelles ou temporaires et installations fonctionnant au bénéfice des droits acquis Art. L. 593-35 à Art. L. 593-38
Chapitre IV : Dispositions à caractère financier relatives aux installations nucléaires de base
Chapitre VI : Contrôle et contentieux
Section 1 : Inspecteurs de la sûreté nucléaire Art. L. 596-1 à Art. L. 596-13
Section 2 : Mesures de police et sanctions administratives Art. L. 596-14 à Art. L. 596-22
Section 3 : Contentieux Art. L. 596-23
Section 4 : Dispositions pénales Art.L. 596-27 à L. 596-31
Chapitre VII : Dispositions applicables à la responsabilité civile dans le domaine de l'énergie nucléaire

Contenu partiel de la partie réglementaire

Livre Ier : Dispositions communes

Titre II : Information et participation des citoyens

Chapitre Ier : Débat public relatif aux opérations d'aménagement. Art. R. 121-1 à Art. R. 121-16
Chapitre II : Évaluation environnementale Art. R. 122-1 à Art. R. 122-23
Chapitre III : Enquêtes publiques relatives aux opérations susceptibles d'affecter l'environnement Art. R. 123-1 à Art. R. 123-46
Chapitre IV : Droit d'accès à l'information relative à l'environnement Art. R. 124-1 Art. R. 124-2 Art. R. 124-3 Art. R. 124-4 Art. R. 124-5

Titre VI : Prévention et réparation de certains dommages causés à l'environnement Art. R. 161-1 à Art. R. 163-1

Livre II : Milieux physiques

Titre Ier : Eau et milieux aquatiques et marins

Chapitre Ier : Régime général et gestion de la ressource Art. R. 211-1 à Art. R. 217-3
Chapitre II : Planification Art. R. 212-1 à Art. R. 212-48
Chapitre III : Structures administratives et financières Art. R. 213-12-1 à Art. R. 213-83
Chapitre IV : Activités, installations et usage Art. R. 214-1 à Art. R. 214-151
Chapitre VI : Sanctions Art. R. 216-1 Art. R. 216-17

Titre II : Air et atmosphère

Chapitre Ier : Surveillance de la qualité de l'air et information du public Art. R. 221-1 à Art. R. 221-37
Chapitre IV : Mesures techniques nationales de prévention de la pollution atmosphérique et d'utilisation rationnelle de l'énergie Art. R. 224-1 à Art. R. 224-68
Chapitre VI : Contrôles et sanctions Art. R. 226-1 à Art. R. 226-17
Chapitre VII : Dispositions particulières aux pollutions causées par des substances radioactives Art. R. 227-1
Chapitre IX : Effet de serre Art. R. 229-5 à Art. R. 229-102

Livre III : Espaces naturels Art. R. 300-1 à Art. R. 300-3

Livre IV : Faune et flore

Titre Ier : Protection de la faune et de la flore

Chapitre Ier : Préservation et surveillance du patrimoine biologique Art. R. 411-1 à Art. R. 411-41
Chapitre II : Activités soumises à autorisation Art. R. 412-1 à Art. R. 412-10
Chapitre IV : Conservation des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvages
Section 1 : Sites Natura 2000 Art. R. 414-1 à Art. 414-29

Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances

Titre préliminaire : Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques Art. D. 510-1 à Art. D. 510-5

Titre Ier : Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Chapitre Ier : Dispositions générales
Section 2 : Nomenclature des installations classées Art. R. 511-9 Art. R. 511-10
Chapitre II : Installations soumises à autorisation, à enregistrement ou à déclaration Art. R. 512-1
Section 1 : Installations soumises à autorisation Art. R. 512-2 à Art. R. 512-46
Section 2 : Installations soumises à enregistrement Art. R. 512-46-1 à Art. R. 512-46-30
Section 3 : Installations soumises à déclaration Art. R. 512-47 à Art. R. 512-74
Chapitre IV : Contrôle et contentieux des installations classées
Section 1 : Contrôle et sanctions administratifs Art. R. 514-1 à Art. R. 514-3-1
Section 2 : Dispositions pénales Art. R. 514-4 Art. R. 514-5
Chapitre VI : Dispositions financières Art. R. 516-1 à Art. R. 516-6

Titre II : Produits chimiques, biocides et substances à l'état nanoparticulaire

Chapitre Ier : Contrôle des produits chimiques Art. R. 521-1 à Art. R. 521-68
Chapitre II : Contrôle de la mise sur le marché des substances actives biocides et autorisation de mise sur le marché des produits biocides Art. R. 522-1 à Art. D. 522-47

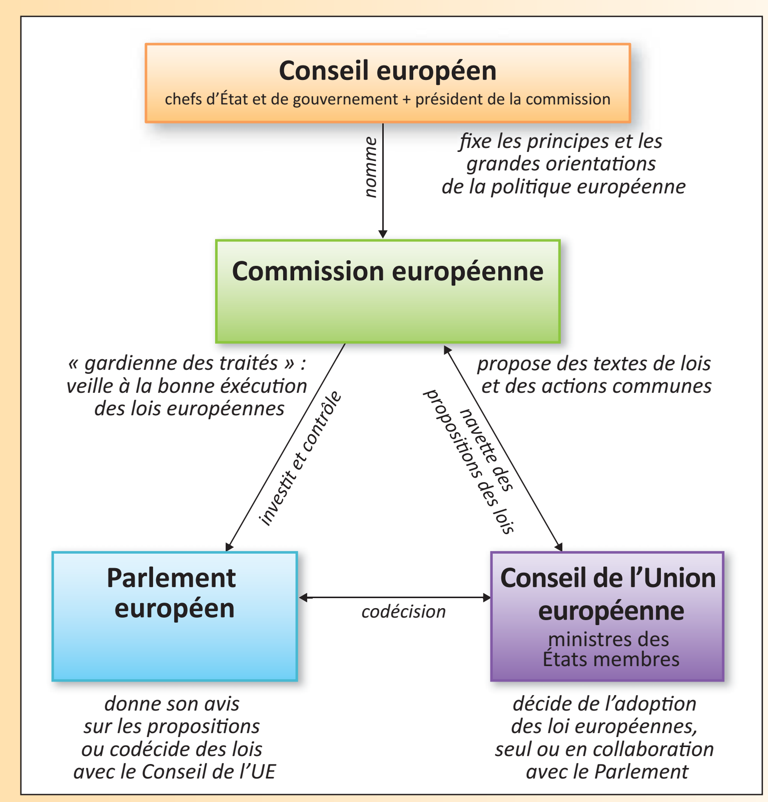
Annexe 5.4

Institutions de l'Union européenne



L'Union européenne (UE) a notamment pour institutions le Conseil européen, la Commission, le Parlement, le Conseil de l'UE et la Cour de Justice.

- Le **Conseil européen** regroupe les chefs d'États ou de Gouvernement des États membres. Il fixe les grandes orientations et donne les impulsions sur les sujets les plus importants mais n'exerce pas de fonction législative. Chaque État membre préside à son tour le Conseil européen pour une période de six mois.
- La **Commission européenne** est l'institution politiquement indépendante des gouvernements nationaux, qui représente et défend les intérêts de l'UE dans son ensemble. Elle est composée de 27 membres nommés par les gouvernements. Elle élabore les propositions de nouvelles lois européennes, qu'elle soumet au Parlement européen et au Conseil de l'UE. C'est également le bras exécutif de l'Union. En d'autres termes, elle est responsable de l'exécution des décisions du Parlement et du Conseil.
- Le **Parlement européen** est composé de représentants des peuples élus au suffrage universel direct tous les 5 ans, et dispose en général d'une compétence législative partagée avec le Conseil de l'UE (procédure de codécision). Dans quelques domaines, par exemple l'agriculture, les politiques économiques, les visas et l'immigration, le Conseil est seul à décider, mais a l'obligation de consulter le Parlement. En outre, l'avis conforme du Parlement est requis pour une série de décisions importantes.
- Le **Conseil de l'UE** est composé des Ministres issus de chaque gouvernement, et représente les États membres de l'UE. Le Conseil de l'UE est le principal organe de décision de l'UE et a pour missions entre autre, d'adopter les législations européennes et de conclure les accords internationaux. Il est aidé dans son travail par le Comité des Représentants Permanents des États membres (COREPER).
- La **Cour de Justice** de l'Union européenne (CJUE) est chargée d'assurer le respect du droit dans l'interprétation et l'application des Traités. Elle est composée de juges nommés d'un commun accord par les États membres.









6 Prélèvements d'eau et source froide

1. Enjeux liés à la ressource en eau

Qu'elle soit prélevée en mer ou dans un cours d'eau voire en nappe souterraine, l'eau est indispensable au fonctionnement d'une centrale nucléaire.

Les prélèvements d'eau de surface sont réalisés pour assurer le refroidissement des condenseurs et pour alimenter en eau brute ou industrielle les différents circuits nécessaires au fonctionnement. L'eau brute ou industrielle est une eau douce sommairement traitée (filtration, clarification) qui fournit les appoints aux échangeurs de chaleur, au réseau d'incendie, le cas échéant, à la station de production d'eau déminéralisée…. Elle assure en particulier le refroidissement des échangeurs de chaleur du réacteur lorsque celui-ci est à l'arrêt.

L'eau prélevée en sous-sol sert à alimenter le réseau d'eau potable des centrales non reliées au réseau communal (ex. Cruas, Chinon...) et/ou les installations en eau industrielle (ex. Dampierre).

La mer ou la rivière dans laquelle est prélevée l'eau constitue ce qu'il est convenu d'appeler la **source froide**.

L'eau douce prélevée **en surface** ou **en sous-sol** fait l'objet d'une réglementation. Les quantités prélevées sont limitées en débit et en volume et doivent, à ce titre, pouvoir être évaluées par l'exploitant.

Le besoin d'une eau de qualité et en quantité suffisante détermine l'emplacement de la centrale et la conception des circuits de refroidissement.

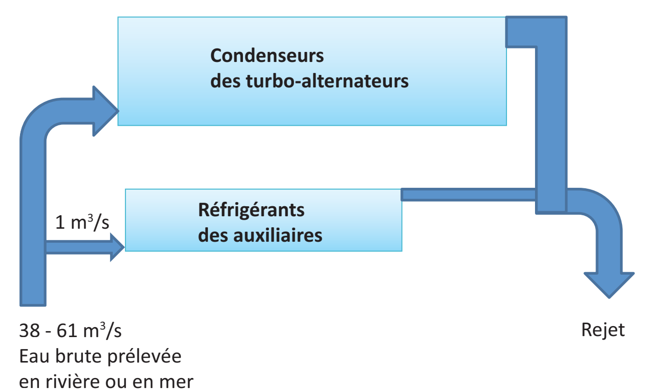
Pour les centrales implantées en bord de fleuve ou de rivière, le débit du cours d'eau doit être suffisant pour garantir tout au long de l'année les volumes nécessaires au fonctionnement des installations.

La qualité d'eau prélevée (caractère entartrant, salinité, matières en suspension, température) et son évolution possible dans le temps sont des paramètres à prendre en considération tant à la conception des ouvrages qu'en exploitation. Elle conditionne le dimensionnement des circuits de refroidissement, la mise en place ou non de dispositifs de traitement (antitartre, biocide) et/ou de nettoyage en continu de ces circuits. En exploitation, l'encrassement des circuits, dû à la mauvaise qualité de l'eau, peut réduire la performance des installations.

Par ailleurs, la température de l'eau est un facteur qui détermine le rendement des centrales refroidies en circuit ouvert (cycle de Carnot) ; elle accentue les phénomènes d'entartrage et la prolifération des micro-organismes dans les centrales refroidies en circuit fermé.

2. Besoins en eau d'une centrale nucléaire

Fig. 1 ➜ Schéma simplifié d'une unité de production refroidie en circuit ouvert



Le refroidissement des condenseurs des groupes turbo-alternateurs et des circuits auxiliaires est assuré par de l'eau brute prélevée dans un cours d'eau ou en mer. Les quantités d'eau prélevées sont fonction du type de circuit de refroidissement (circuit ouvert ou circuit fermé).

En circuit ouvert, (*cf.* fig 1) l'eau prélevée au milieu parcourt l'intérieur des tubes du condenseur en s'échauffant à leur contact puis retourne directement au milieu aquatique. Dans ce cas, l'énergie thermique extraite au condenseur est intégralement transférée au milieu aquatique (mer ou rivière).

En circuit dit « fermé » au contraire, l'énergie thermique extraite est cédée en quasi-totalité à l'atmosphère au moyen d'un aéroréfrigérant. Ce circuit fait l'objet d'un appoint d'eau prélevée en rivière et d'une purge continue par laquelle une faible partie de l'énergie thermique est transférée au cours d'eau (*cf.* fig 2).

2.1 Centrale refroidie en circuit ouvert

Refroidissement des condenseurs des groupes turbo-alternateurs

Le débit d'eau (Q) nécessaire au refroidissement des condenseurs en circuit ouvert dépend de la puissance thermique (P_{th}) à évacuer et de la contrainte qu'on se fixe en termes d'échauffement (DT°C) suivant la relation : $P_{th\ condenseur} = Q.C.\Delta T$[1] (*cf.* encart).

L'échauffement de l'eau et le débit prélevé sont donc directement liés. Ils sont déterminés à la conception des ouvrages en fonction notamment des contraintes environnementales (*cf.* chapitre 8 §2.4 du guide).

Pour le parc d'EDF en exploitation les ordres de grandeur des débits de prélèvement d'eau sont fournis pour les différents paliers de puissance électrique (*cf.* tab. I).

En circuit ouvert, les volumes annuels d'eau prélevés varient de 900 à 1 900 millions de m^3 par unité selon l'importance des installations de refroidissement. Mais cette eau est **restituée en quasi-totalité au milieu extérieur**. Une infime partie (moins de 1 %) s'évapore dans le cours d'eau en aval du rejet et permet au panache thermique - du fait du refroidissement produit par cette évaporation – de retourner à la température naturelle du cours d'eau. Notons que les volumes prélevés en circuit ouvert ne sont pas proportionnels à l'énergie produite par la centrale car le fonctionnement des pompes de prélèvement ne dépend pas du niveau de puissance de la centrale.

Tab. I Débits nominaux prélevés

Débit nominal par unité de production (ou réacteur)	
Sites fluviaux	
Palier 900 MWe (8 réacteurs)	42 m^3/s
Palier 1300 MWe (2 réacteurs)	57 m^3/s
Sites marins	
Palier 900 MWe (10 réacteurs)	38-40 m^3/s
Palier 1300 MWe (8 réacteurs)	43-53 m^3/s
EPR 1650 MWe (1 réacteur)	61 m^3/s

Comparaison des débits et des échauffements théoriques entre une centrale classique et une centrale nucléaire

Bilan thermique	Centrale thermique à flamme	Centrale nucléaire à eau légère
Puissance thermique fournie par la chaudière ou le réacteur **(P_{th})**	**1,00**	**1,00**
Puissance électrique **(P_e)**	0,38*	0,31
Pertes à la cheminée	0,14	0
Pertes diverses	0,03	0,04
Puissance thermique à évacuer par la source froide au condenseur du groupe turbo-alternateur **($P_{th\ condenseur}$)**	0,45	0,65
($P_{th\ condenseur}$)/(P_e)	0,45/0,38 =**1,2**	0,65/0,31=**2,1**

Type de centrale	Puissance électrique	Puissance à évacuer au condenseur	Débit de refroidissement pour un échauffement de 10 °C	Débit de refroidissement pour un échauffement de 15 °C
Centrale classique	1 000 MW	1 200 MW	Q = 30 m^3/s	Q = 20 m^3/s
Centrale nucléaire	1 000 MW	2 100 MW	Q = 50 m^3/s	Q = 33 m^3/s

* Le rendement thermodynamique d'une centrale classique est plus élevé (donc meilleur sur le plan énergétique) que celui d'une centrale nucléaire. La raison en est la température plus élevée de la source chaude (550 °C) contre seulement 300 °C dans un réacteur nucléaire à eau sous pression.

Nota sur les unités :
L'énergie s'exprime en Joule (J).
La puissance en Watt (W) qui vaut 1 Joule par seconde ($J.s^{-1}$).
L'énergie nécessaire pour élever de 1 °C un mètre cube d'eau est de 4,186 $MJ.m^{-3}.°C^{-1}$ (à 15 °C).

1. P_{th} = puissance thermique en MJ/s ; C = chaleur massique de l'eau à 15 °C : 4,186 $MJ.m^{-3}.°C^{-1}$; ΔT en °C.

Refroidissement des circuits auxiliaires en circuit ouvert

Une partie de l'eau prélevée en surface est utilisée pour alimenter de nombreux matériels tels que les échangeurs de chaleur assurant le refroidissement du réacteur à l'arrêt, le circuit de protection contre l'incendie, le cas échéant la station de production d'eau déminéralisée (*cf.* § 2.3). L'eau brute est une eau qui n'a subi qu'un simple traitement par filtration. Les débits prélevés pour ces usages sont d'environ 1 m^3/s pour une unité de production.

2.2 Centrale refroidie en circuit fermé

Le refroidissement en circuit fermé utilise des tours aéroréfrigérantes où l'échange thermique ne s'opère plus avec l'eau de la rivière comme en circuit ouvert mais avec l'air de l'atmosphère. L'énergie thermique extraite des condenseurs des turbo-alternateurs est dissipée à 75 % sous forme de vapeur d'eau (panache) et par convection à hauteur de 25 %. L'eau prélevée en rivière sert alors à compenser la quantité d'eau évaporée dans l'aéroréfrigérant et la purge du circuit (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts). La purge est pratiquée en continu afin de limiter la concentration de sels minéraux dans le circuit de refroidissement.

Sur la Vienne, cours d'eau à faible débit, cette technique est aussi utilisée à la centrale de Civaux pour assurer le refroidissement des échangeurs des circuits auxiliaires nucléaires.

Selon l'importance des débits des cours d'eau, il existe trois configurations pour alimenter en eau brute les centrales nucléaires refroidies en circuit fermé. Le débit d'eau prélevée pour une unité de production varie ainsi de 4,6 m^3/s pour des centrales implantées sur de grands fleuves (Rhône) à 2 m^3/s pour la centrale de Civaux sur la Vienne.

Refroidissement des condenseurs des groupes turbo-alternateurs

Les quantités d'eau prélevées sont plus faibles qu'en circuit ouvert : elles varient de 40 à 140 millions de m^3 par unité et par an suivant la configuration des circuits (*cf.* fig. 2) et la qualité de l'eau (nécessité d'augmenter les appoints et les purges aux aéroréfrigérants en cas d'eau entartrante *cf.*§ 6). Une partie de l'eau prélevée s'évapore à l'atmosphère et n'est donc pas restituée au cours d'eau. La quantité évaporée est proportionnelle à l'énergie produite par la centrale à raison de 2,5 L/kWh_{net} environ.

Les quantités d'eau prélevée et évaporée sont données, ci-après, pour chaque palier de puissance électrique. Ces valeurs ne sont que des ordres de grandeur ; elles dépendent de la conception des circuits et varient d'une centrale à l'autre. Par ailleurs, le débit évaporé est une moyenne ; sa valeur évolue en fonction de la température de l'air ambiant (principalement) et de son humidité (pour une valeur moyenne de 0,75 m^3/s, la plage de variation s'étend de 0,6 m^3/s à 0,85 m^3/s) – *cf.* tab. II.

Refroidissement des circuits auxiliaires

Pour les centrales implantées sur de grand cours d'eau (Cruas, ...), les circuits des matériels **auxiliaires nucléaires** sont refroidis en boucle ouverte. Le débit prélevé est alors de 0,6 m^3/s environ par unité de production (*cf.* fig. 2a).

Dans les centrales prélevant sur des cours d'eau à débit moyen (Nogent, Cattenom…), l'eau alimentant les circuits des auxiliaires est réutilisée pour effectuer les appoints aux tours aéroréfrigérantes. Ceci permet de réduire le besoin en eau brute (*cf.* fig. 2b).

Sur la Vienne (Civaux), les matériels auxiliaires **non nucléaires** sont refroidis suivant la configuration adoptée à Nogent ou Cattenom. Mais, compte tenu du faible débit de la Vienne, les matériels **auxiliaires nucléaires** sont refroidis en boucle fermée au moyen d'aéroréfrigérants. Le débit prélevé pour cet usage est de ce fait presque nul (*cf.* fig. 2c).

2.3 Besoin en eau déminéralisée

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire requiert de l'eau chimiquement pure notamment pour alimenter le circuit primaire et le circuit secondaire.

Cette eau peut être produite à partir de l'eau douce prélevée en rivière puis traitée dans une chaîne de déminéralisation composée en série de floculateur-décanteur, de filtres, de résines échangeuses d'ions (*cf.* fig. 3),

Elle peut aussi être produite par dessalement de l'eau de mer avec une installation d'ultrafiltration et d'osmose inverse ; cas de Flamanville (*cf.* fig. 4).

Dans certains cas, l'eau douce nécessaire à la production d'eau déminéralisée est prélevée dans les

Tab. II Débits nominaux prélevés et évaporés

Débit nominal prélevé et évaporé par unité de production (ou réacteur)	
Palier 900 MWe (16 réacteurs)	2 m^3/s dont 0,67 m^3/s évaporé
Palier 1300 MWe (10 réacteurs)	2 m^3/s dont 0,75 m^3/s évaporé
Palier 1450 MWe (4 réacteurs)	2,6 m^3/s dont 0,75 m^3/s évaporé

eaux souterraines (cas de Fessenheim, Nogent) ou directement dans le réseau urbain d'eau potable (Cattenom, Gravelines).

Les besoins annuels d'eau déminéralisée s'élèvent à environ 180 000 m^3 en moyenne par unité de production.

Fig. 2 ➜ Schémas d'une unité de production en circuit fermé (ordres de grandeur)

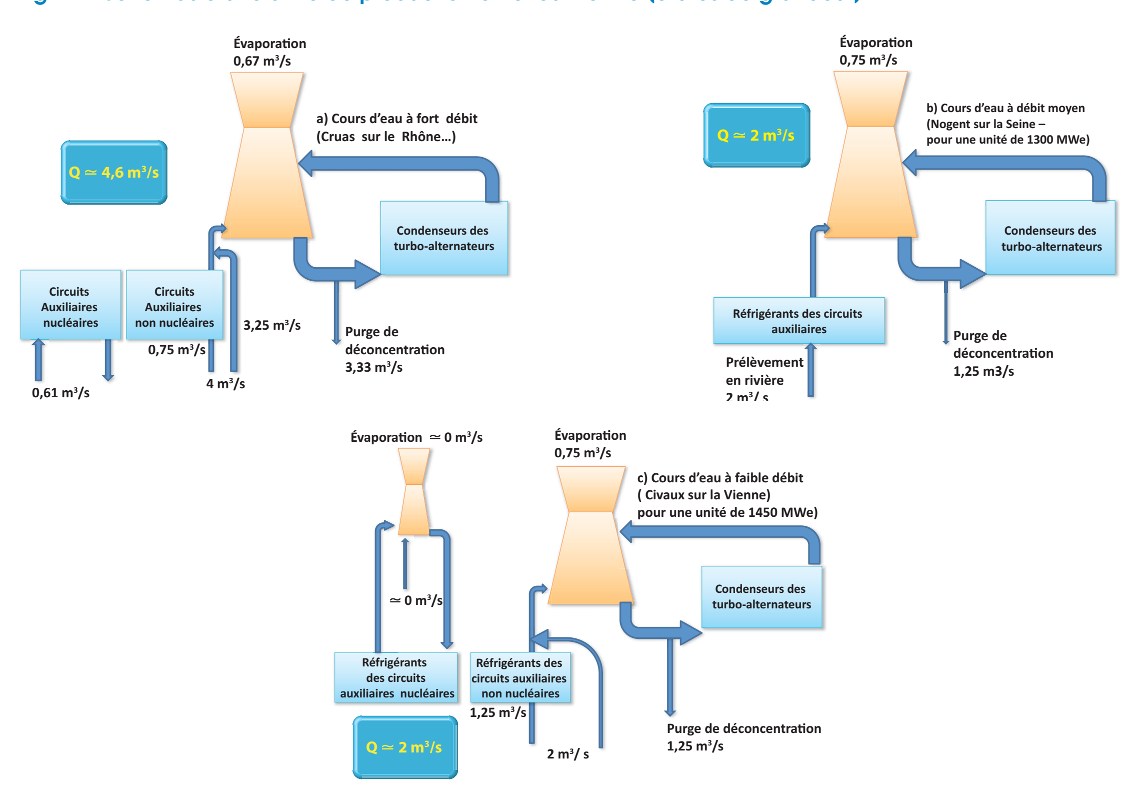


Fig. 3 ➜ Chaîne de production d'eau déminéralisée.

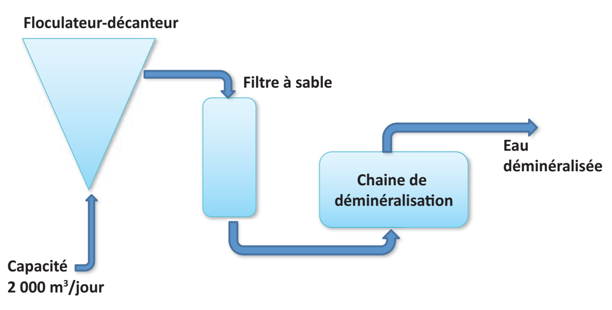
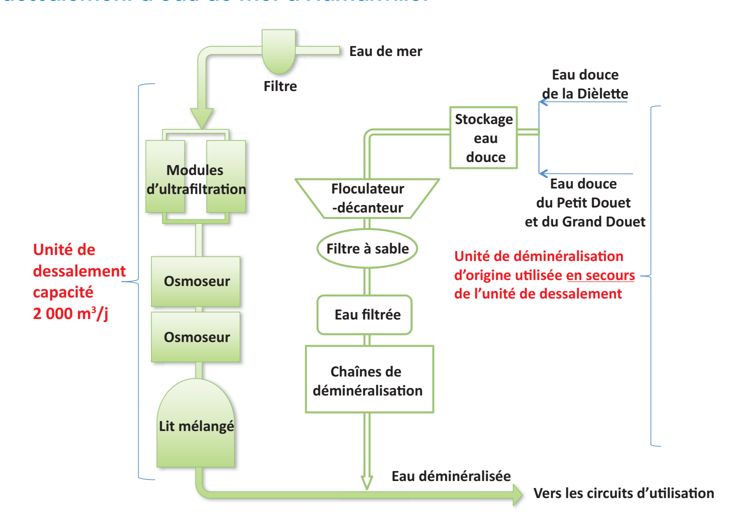


Fig. 4 ➜ Station de dessalement d'eau de mer à Flamanville.





2.4 Besoin en eau potable

L'eau potable dans une centrale nucléaire alimente les sanitaires, les vestiaires, la laverie des tenues de travail utilisées en zone nucléaire.

L'eau potable provient :

- soit directement du **réseau d'eau potable urbain** (Blayais, Bugey, Chinon, Cattenom, Chooz, Civaux, Dampierre, Flamanville, Golfech, Nogent, Paluel, Penly, St-Alban, Tricastin). Dans ce cas, comme l'exige la réglementation en vigueur, « *Les ouvrages de raccordement sur le réseau public de distribution d'eau potable sont équipés d'un ou de plusieurs réservoirs de coupure ou de tout autre dispositif permettant d'éviter, notamment à l'occasion de retour d'eau, une perturbation du fonctionnement du réseau ou une contamination de l'eau distribuée* ».
- soit d'un **forage dans les eaux souterraines** (Fessenheim, Cruas, Belleville, St-Laurent). Dans ce cas, « *Les ouvrages de prélèvement dans les eaux souterraines sont équipés d'un clapet anti-retour ou de tout autre dispositif équivalent de protection de ces eaux. Les forages sont réalisés de façon à empêcher la mise en communication des nappes souterraines distinctes* ».

La qualité de l'eau potable distribuée sur le site fait l'objet de contrôles réguliers comme l'exige la réglementation sanitaire (nature et fréquence des contrôles).

La consommation d'eau potable sur une centrale nucléaire est liée au volume des activités de maintenance (nombre d'arrêts de tranche) et dépend du nombre de travailleurs présents sur le site ; elle se situe en moyenne à 25 000 m^3 par unité de production.

Afin de maîtriser la consommation d'eau potable et éviter les gaspillages, la consommation d'eau est suivie au moyen de compteurs. En cas de consommation élevée non justifiée, des recherches de fuites sont systématiquement entreprises.

3. Évaluation des débits et volumes d'eau prélevée et consommée (évaporée)

La connaissance des débits prélevés, évaporés (pour les centrales refroidies en circuit fermé) et rejetés est nécessaire pour les raisons suivantes :

- répondre aux exigences de la réglementation (respect des limites autorisées),
- évaluer les redevances à payer au titre des prélèvements d'eau (*cf.* chapitre 11 du guide),
- connaître le débit de rejet dans l'ouvrage de rejet avant dispersion dans le milieu récepteur à partir des débits prélevés et évaporés (*cf.* chapitre 7 du guide),
- évaluer les risques d'entartrage du circuit.

3.1 Débits prélevés en circuit ouvert ou fermé

En général, les débits prélevés sont déterminés à partir des compteurs horaires des pompes et de leur débit nominal (protocole tenant notamment compte de la perte de charge induite par l'encrassement des circuits). Le volume d'eau souterraine prélevé est mesuré par des compteurs volumétriques. Les débits et quantités d'eau prélevés sont limités par la réglementation (*cf.* encart).

3.2 Débits consommés (évaporés)

En circuit fermé, le débit évaporé est calculé en référence à la norme (NF E-38-423) qui impose une précision d'au moins 5 %. Trois méthodes fondées sur cette norme sont appliquées :

- la méthode TEFERI (mode 1) : méthode de calcul polynomiale utilisée à Nogent, Cattenom, Chooz, Civaux,
- la méthode TEFERI (mode 2) : méthode de calcul à partir des paramètres thermodynamiques

Extrait de l'arrêté du 29 décembre 2004
de la centrale le Nogent refroidie en circuit fermé
(deux unités de 1 300 MWe)

Art. 5 - I – Les volumes prélevés ne peuvent excéder les valeurs maximales suivantes :

Prélèvement en Seine

Débit maximal instantané	Quantité annuelle maximale
7 m^3/s	149 millions de m^3

Prélèvement en Nappe alluviale

Débit maximal instantané	Quantité quotidienne maximale	Quantité annuelle maximale
0,1 m^3/s	6 130 m^3	562 000 m^3

II – Les prélèvements d'eau sont soumis aux conditions suivantes :

Le débit de la prise d'eau en Seine sera restitué intégralement, à l'exception de la fraction évaporée ; cette fraction ne pourra en aucun cas dépasser 1,85 m^3/s en débit de pointe, et elle sera en moyenne de 1,5 m^3/s sur l'année.

En situation d'étiage sévère, c'est-à-dire lorsque le débit à Pont sur Seine est inférieur à 15 m^3/s, la fraction évaporée sera réduite à 1,7 m^3/s.

Le débit réservé en Seine à l'aval du rejet de la centrale devra en toute circonstance être supérieur à 8 m^3/s.

(puissance de l'unité de production, température de l'air, hygrométrie…) ; cette méthode est utilisée sur les sites de bord de Loire,

- la méthode à « deux coefficients fonction de l'énergie », l'un pour l'été, l'autre pour l'hiver, sur les autres centrales en circuit fermé (Cruas).

3.3 Débits rejetés

Dans les **circuits ouverts**, le débit rejeté est égal au débit prélevé puisque l'eau prélevée est entièrement restituée au milieu.

En **circuits fermés**, le débit rejeté (ouvrage de rejet) est également déterminé par différence (débit prélevé – débit évaporé).



Centrale nucléaire de Tricastin sur le Rhône en circuit ouvert (55 ha).

4. Maîtrise des salissures biologiques dans les circuits de refroidissement

Les circuits d'eau brute sont soumis à deux types de salissures biologiques pouvant provoquer leur colmatage. Il s'agit :

- d'organismes vivants de grande taille (moules, bryozoaires…) qui se fixent sur les parois des circuits véhiculant l'eau brute (tambours filtrants des stations de pompages, boîtes à eau des condenseurs, bassins de recueil des eaux de ruissellement des aéroréfrigérants…) ;
- d'un «biofilm» se formant sur la surface interne des tubes de condenseurs et pouvant réduire les échanges thermiques.

Par ailleurs, les stations de prise d'eau peuvent s'envaser (*cf.* § 5) voire être obstruées par les glaces en hiver et par les arrivées massives d'algues, de débris végétaux, de méduses (*cf.* § 8.3).

Pour lutter contre les salissures biologiques et le colmatage des circuits, des **procédés physiques** et/ou **traitements chimiques** sont mis en œuvre (*cf.* fig. 5).

Fig.5 ➜ Procédés de traitement

Lutte contre les salissures biologiques et le colmatage des circuits de refroidissement



Traitement physique
– Conception adaptée des circuits de prise d'eau
– Filtration
– Nettoyage mécanique
– Augmentation du débit d'eau d'appoint à l'aéroréfrigérant

Traitement chimique
– Électrochloration sur les sites marins
– Chloration des centrales équipées de tours aéroréfrigérantes

4.1 Nature des salissures biologiques

En bord de rivière

Les principales espèces de salissures biologiques en eau douce sont des coquillages bivalves (moules zébrées, clams asiatiques), des gastéropodes et des colonies de bryozoaires. La nature des salissures dépend du bassin fluvial. Ainsi, les bryozoaires abondent en Loire, en Moselle et dans le Rhône. Des espèces exotiques sont apparues dans les cours d'eau français comme le clam asiatique en Garonne depuis 1989. La surveillance hydrobiologique pratiquée par les centrales permet de les détecter et de les identifier.

En bord de mer

Les principaux organismes marins à l'origine des colmatages sont les moules pour les canalisations, les algues pour les grilles fixes et les tambours filtrants, les poissons et le plancton « gélatineux » (cténaires ou groseilles de mer, méduses) pour les tambours filtrants et les débris d'algues ou de coquilles pour les échangeurs. Entre 1995 et 2005, on a observé une recrudescence des problèmes liés aux algues sur les sites de Paluel, Flamanville et Penly. Certains épisodes de colmatage ont provoqué à Paluel, en 2004, l'arrêt de deux unités de production et des dégâts importants sur les tambours filtrants. Ces phénomènes surviennent essentiellement au printemps et en été. Ils ont lieu principalement lors des « coups de vent » qui provoquent un arrachage des algues des fonds marins et leur transport vers les prises d'eau des centrales.

4.2 Procédés de lutte contre les salissures biologiques

Procédés physiques

La lutte contre les salissures biologiques portent sur :

- les circuits conçus de manière à garantir une bonne vitesse de circulation de l'eau : les larves d'organismes marins ne se fixent pas lorsque la vitesse est supérieure à 2 m/s,
- la filtration de l'eau au moyen de filtres à mailles rotatifs et autonettoyants qui collectent des débris et les organismes vivants,
- le nettoyage mécanique continu des tubes de condenseurs au moyen de boules en mousse abrasives,
- le nettoyage occasionnel des parois des circuits lors des phases d'arrêt des installations,
- la filtration fine à l'entrée des faisceaux de tubes de condenseurs.

Pour se prémunir contre les conséquences d'un colmatage des prises d'eau par les débris végétaux ou d'algues, des améliorations ont été apportées aux dégrilleurs au niveau des peignes de raclage et des goulottes de récupération.

Procédés chimiques par électrochloration sur les sites marins

Pour lutter contre le développement d'espèces biologiques dans les circuits de refroidissement, on pratique la chloration. À cette fin, des unités de

production d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) par électrolyse de l'eau de mer ont été installées.

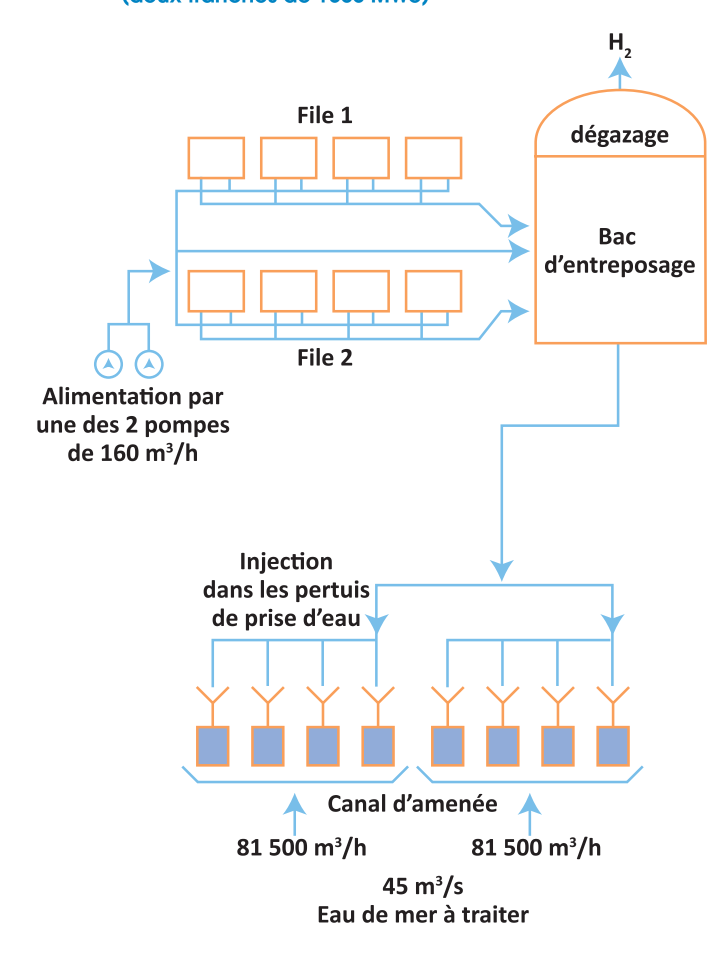
Chaque station d'électrochloration comporte :
- des cellules d'électrolyse dans lesquelles l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) est produit à partir du chlorure de sodium selon la réaction : **$NaCl + H_2O \Rightarrow NaClO + H_2$**,
- une cuve assurant un entreposage de courte durée de l'hypochlorite concentré à environ 1 g/L en chlore avant son injection,
- un dispositif d'injection de la solution dans l'eau de circulation (*cf.* fig. 6).

La chloration est réalisée lorsque la température de l'eau de mer dépasse 10 °C (températures favorables au développement des espèces biologiques). Ces stations d'électrochloration permettent d'optimiser les injections de chlore. La concentration de chlore après mélange est comprise entre 0,5 et 1 mg/L. Sur certains sites, une chloration intermittente (séquentielle) est suffisante. Ceci permet de réduire les rejets de substances chimiques dérivées du chlore (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts).

Procédés chimiques par chloration « massive » à pH contrôlé sur les centrales équipées de tours de réfrigération

La chloration massive à pH contrôlé consiste à injecter rapidement une quantité d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) dans le bassin froid des aéroréfrigérants avec acidification de l'eau pour faire face à une prolifération ponctuelle de salissures biologiques (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts).

Fig. 6 ➜ Circuit d'électrochloration d'eau à la centrale nucléaire de Penly (deux tranches de 1300 MWe)



5. Envasement et dragage (ou curage) des prises d'eau

Les prélèvements d'eau transportent des sédiments qui se déposent dans le chenal d'amenée mais aussi dans les zones « mortes » des ouvrages de prise d'eau entraînant ainsi leur envasement. Lorsque celui-ci devient trop important dans les ouvrages, il peut obstruer les tuyauteries d'alimentation en eau brute des circuits et perturber fortement leur fonctionnement.

Pour ces raisons, l'envasement des prises d'eau ou des chenaux d'amenée d'eau fait l'objet d'un suivi régulier au moyen de mesures bathymétriques permettant d'évaluer les sections d'écoulement le long des chenaux.

Lorsque ces mesures décèlent un risque d'obstruction des ouvrages de prise d'eau, les opérations de dragage sont programmées. Les volumes de sédiments mobilisés par dragage et la fréquence des opérations sont variables selon les sites :
- 1 000 m^3 à 5 000 m^3 par opération à Golfech, une fois tous les 5 ans,
- 400 à 1 200 m^3 à Penly tous les ans,
- 2 000 à 20 000 m^3 par opération à Tricastin, tous les deux ans ou après de très fortes crues,
- 40 000 m^3 à Dampierre tous les 5 à 7 ans.

Ces opérations, dont la durée s'étale sur plusieurs semaines, sont réglementées (*cf.* encart). Selon le volume de sédiments dragués, ces opérations nécessitent, soit une déclaration, soit une demande d'autorisation auprès de l'autorité compétente (ASN ou autorité du domaine eau selon le lieu du dragage en ou hors périmètre de l'INB).

Ensablement de la prise d'eau de la centrale de Chinon

En décembre 2005, la centrale de Chinon, située sur la Loire, a connu l'ensablement partiel du canal d'amenée d'eau. Ce canal est relié au fleuve par l'intermédiaire de trois galeries souterraines acheminant l'eau depuis un captage réalisé dans le lit de la Loire. Une seule galerie est ouverte en fonctionnement. Un pertuis de secours entre la Loire et le canal permet, en cas d'obstruction totale des galeries, d'alimenter la centrale.

Une grande masse de sable a été détectée dans le canal, encombrant les deux galeries fermées, la galerie en fonctionnement étant à son débit normal. Cet incident a été classé au niveau 1 de l'échelle INES par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

à titre préventif, des pompes mobiles à fort débit ont été installées pendant la période de dragage du banc de sable. Des études ont été réalisées en vue d'améliorer la fiabilité de la prise d'eau en réduisant les risques d'ensablement des galeries souterraines et l'intrusion de corps flottants de grosse taille lors de grosses crues. Les travaux se sont achevés en 2011.



Centrale nucléaire de Chinon
(4 × 900 MWe sur la Loire – 115 ha).

Conditions de dragage des cours d'eau ou canaux

(Arrêté du 30/05/2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien des cours d'eau ou canaux, Circulaire du 04/07/2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux)

Aspects administratifs liés aux opérations de dragage

Les extractions de matériaux dans le lit mineur ou l'espace de mobilité des cours d'eau sont interdites. Seuls peuvent être effectués les retraits ou déplacements de matériaux liés au curage d'un cours d'eau ou du plan d'eau traversé par un cours d'eau.

L'opération de dragage doit être dûment justifiée au regard des risques d'envasement ou d'ensablement et des objectifs de qualité fixés pour le milieu aquatique concerné. Le nombre, l'étendue, la durée et la fréquence sont limités au strict nécessaire afin de minimiser les impacts négatifs sur l'environnement.

L'impact prévisible de l'opération est étudié par l'exploitant et présenté dans le dossier administratif d'autorisation ou de déclaration. L'étude de l'exploitant s'appuie sur un diagnostic initial du milieu (situation hydro-biologique, biologique et chimique), sur le volume et la nature des sédiments mobilisés, sur la période de dragage envisagée et sur le devenir des sédiments.

Réalisation des opérations de dragage et devenir des sédiments

L'exploitant établit un plan de chantier précisant la localisation des travaux de dragage, les moyens techniques mis en œuvre (pompes aspirantes, pelleteuses, barges), le calendrier prévu, les modalités d'enlèvement des sédiments et les dispositions mises en œuvre pour éviter tout risque de pollution accidentelle pendant l'opération.

L'autorité compétente peut fixer des périodes pendant lesquelles les travaux sont interdits ou doivent être restreints pour tenir compte de la migration ou de la reproduction des poissons, des loisirs nautiques ou de pêche.

Le plan de chantier est accompagné d'un protocole de surveillance décrivant les actions et les mesures envisagées pendant la phase de travaux pour limiter les impacts prévisibles sur l'écosystème aquatique et suivre la qualité de l'eau (notamment l'oxygène dissous).

En cas d'incident susceptible de provoquer une pollution accidentelle, les travaux sont interrompus et les autorités compétentes en sont informées dans les meilleurs délais. En cas de régalage ou de mise en dépôt, même provisoire, des sédiments à proximité du cours d'eau, des dispositions sont prises par l'exploitant pour éviter toute contamination par ruissellement.

Pour les **sites en bord de rivière**, les matériaux mobilisés par l'opération de dragage doivent être

remis dans le cours d'eau afin de ne pas altérer le transport naturel des sédiments et le maintien du lit dans son profil d'équilibre. La restitution des sédiments au cours d'eau est réalisée au regard de la contamination des sédiments, et des effets sur l'écosystème à l'aval.

Lorsque la remise dans le cours d'eau n'est pas possible du fait de leur forte contamination, ou des mauvaises conditions de dilution dans le milieu aquatique, les sédiments sont mis en épandage ou traités comme déchets conventionnels.

Sur les sites marins, les chenaux d'amenée d'eau sont soumis à l'ensablement sous l'effet conjugué de la houle et des courants d'aspiration des stations de pompage. Les sédiments prélevés lors des dragages sont disposés sur une barge en vue d'être acheminés jusqu'au lieu de rejet en mer (clapage) dans une zone bien définie et autorisée (meilleur compromis entre impact environnemental et facilité de mis en œuvre)[1].

Information de l'administration à la fin des travaux

À la fin des travaux, un rapport est remis aux autorités compétentes évaluant l'efficacité du dragage et les éventuels écarts avec les impacts présentés dans l'étude initiale.



Opération de dragage à la centrale nucléaire de Penly.

6. Qualité de l'eau prélevée vis-à-vis du risque d'encrassement des circuits de refroidissement

Les circuits de refroidissement sont soumis au risque d'encrassement du fait :

- de la présence de sels de calcium et de magnésium (mesurés par le TH[2]) et d'hydrogénocarbonates (mesurés par le TAC)[3] dans l'eau douce prélevée, à l'origine de la formation de **tartre**,
- des matières en suspension ou colloïdes susceptibles de se déposer sur les surfaces d'échange,
- de la formation d'un biofilm sur les parois des circuits.

6.1 Formation du tartre dans les circuits (condenseurs et aéroréfrigérants)

La présence de sels de calcium dans l'eau prélevée dans le cours d'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau. Ainsi, plus la teneur en sels de calcium (dureté de l'eau) est élevée, plus il y a prédisposition au dépôt de calcaire ou tartre (carbonate de calcium) sur les parois en contact avec l'eau.

Mais la présence de sels de calcium dans l'eau n'est pas à elle seule suffisante pour provoquer l'entartrage. La précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, faisant diminuer la teneur de gaz carbonique dissous dans l'eau, accélère la précipitation du tartre. Il n'y a pas ou très peu d'entartrage sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eau tiède (circuit de refroidissement des condenseurs) ou d'eau chaude sanitaire présentent un terrain favorable à l'entartrage (*cf.* encart ci-après).

1. En conformité avec la convention OSPAR, l'article L. 218-43 du Code de l'environnement stipule que l'immersion en mer de déchets ou d'autres matières est interdite, cependant, l'immersion des déblais de dragage peut être autorisée (article L. 218-44). La procédure de permis d'immersion des déblais de dragage en milieu marin a été simplifiée par l'ordonnance n° 2005-805 du 18 juillet 2005. Depuis, les autorisations ou déclarations valent permis d'immersion des déblais de dragage.
2. TH titre hydrotimétrique *cf.* chapitre 10 §4 du guide.
3. TAC titre alcalimétrique *complet* *cf.* chapitre 10 §4 du guide.



6.2 Traitement antitartre des circuits de refroidissement des condenseurs

Circuit ouvert

La propreté des tubes de condenseurs est assurée en permanence par la circulation de boules en mousse qui, par leur passage répété, limitent les dépôts de toute nature, y compris de tartre (mesure préventive). En cas d'encrassement, le dépôt est retiré mécaniquement au moyen d'hydro-lasers à très haute pression lors des opérations de maintenance (mesure curative). Aucun traitement mettant en œuvre des substances chimiques antitartre n'est nécessaire.

Circuit fermé

Dans les circuits fermés, les sels contenus dans l'eau naturelle prélevée (en particulier le carbonate de calcium) se concentrent du fait de l'évaporation partielle de l'eau dans la tour aéroréfrigérante. Ceci est propice à la formation de tartre notamment dans les zones d'échange de chaleur que sont les tubes de condenseurs et les corps d'échange des aéroréfrigérants (packings).

À la mise en service des centrales au début des années 80, des études ont permis de définir, en fonction de la qualité de l'eau prélevée, les facteurs de concentration[1] à ne pas dépasser et les débits d'appoint et de purge appropriés pour éviter le phénomène d'entartrage. Des traitements chimiques antitartre sont, malgré tout, nécessaires sur plusieurs centrales (*cf.* encart).

Lorsque la centrale est en fonctionnement, les **traitements préventifs** de lutte contre le tartre consistent à :

- injecter en continu de l'acide sulfurique ou chlorhydrique, ce qui permet de diminuer le risque de formation de tartre dans les circuits alimentés en eau très entartrante comme l'eau de la Meuse à Chooz, de la Moselle à Cattenom, de la Garonne à Golfech et de la Seine à Nogent,
- ajouter le cas échéant des antitartres organiques qui agissent sur la formation des cristaux de tartre et empêchent ces derniers ainsi que les matières en suspension de se déposer sur les corps d'échanges des aéroréfrigérants (Nogent),
- injecter du gaz carbonique qui, en se dissolvant dans l'eau pour former de l'acide carbonique, diminue le risque d'entartrage des condenseurs (Chinon, Bugey…).

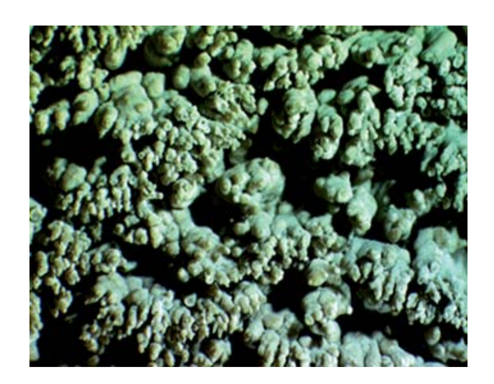
Pour assurer la meilleure efficacité de ces traitements, le maintien en propreté des circuits est primordial : nettoyage des tubes de condenseurs par des boules en mousse, nettoyage des grilles en sortie des aéroréfrigérants, des tambours filtrants, de la propreté des séparateurs de gouttes dans les aéroréfrigérants.

Le degré d'encrassement des corps d'échange de l'aéroréfrigérant peut être suivi en fonctionnement par :

- la mesure des performances des circuits (contrôle économique de fonctionnement),
- la pesée du corps d'échange.

En cas de prise de poids marqué, des **actions curatives** sont réalisées à l'arrêt comme le lessivage à l'aide sulfurique ou au gaz carbonique et le secouage des corps d'échange (packings) des aéroréfrigérants. Mais ces actions surviennent sur des phénomènes déjà établis. Le suivi de la chimie de l'eau permet, *via* l'utilisation d'indicateurs de risque d'entartrage, d'anticiper la formation de tartre dans le circuit et de mettre en œuvre rapidement les actions nécessaires en cas de dérive de ces indicateurs (*cf.* encart).

Les traitements contre le tartre engendrent des rejets chimiques qui sont réglementés (*cf.* chapitre 7 sur la nature et le contrôle des rejets).



Écaille de tartre déposé dans un aéroréfrigérant.
Centrale nucléaire de Nogent sur Seine.

1. Le facteur de concentration de sel dans le circuit de refroidissement est défini par la formule : Fc = Débit d'appoint/Débit de purge.

Traitements antitartre des centrales refroidies en circuit fermé

Controle de l'entartrage des circuits

Des essais réalisés sur des boucles d'essai (TERA), avant la conception des circuits, ont permis d'étudier l'influence des caractéristiques physico-chimiques de l'eau sur la formation de tartre.
Mais d'autres facteurs peuvent aussi favoriser l'apparition de tartre :
- la température de l'eau et son pH,
- le dégazage du CO_2 dissous dans l'eau,
- la présence de certains constituants de l'eau naturelle ou émis par l'abrasion des tubes en laiton des condenseurs (ions cuivre et ions zinc, ions ferreux),
- la géométrie et de l'état de surface du matériau constitutif du corps d'échange (condenseurs, packings).

À la conception des ouvrages, le dimensionnement des circuits (pompes…) tient compte d'un facteur très important dans le risque de formation de tartre, à savoir le facteur de concentration (Fc) entre le débit d'eau d'appoint et le débit de purge : Fc = A/P.
En exploitation, le risque d'entartrage est évalué par le suivi du facteur de concentration et par l'indice de Ryznar déterminé par la formule suivante :

$$Ir = \text{pH de saturation} - \text{pH}$$

Le pH de saturation dépend de la température de l'eau, de la teneur en bicarbonates dans l'eau (TAC), de la teneur en calcium (dureté de l'eau) et de la salinité de l'eau.
Le tableau ci-après donne la correspondance entre l'indice de Ryznar et la tendance entartrante ou corrosive de l'eau.

Ir	Tendance
4 à 5	entartrage important
5 à 6	entartrage faible
6 à 7	équilibre
7 à 7,5	légère corrosivité
7,5 à 8,5	corrosivité notable
> 8,5	corrosivité importante

Des seuils d'alerte ont été définis pour chaque centrale.

Traitements antitartre

Injection d'acide fort

L'injection d'acide sulfurique (1) ou chlorhydrique (2) dans l'eau à traiter permet de déplacer l'équilibre chimique de façon à rendre l'eau moins entartrante en diminuant la concentration en bicarbonate de calcium.

(1) Acide sulfurique : $Ca^{2+} + 2HCO_3^- + H_2SO_4 \Leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2CO_2 + 2H_2O$

(2) Acide chlorhydrique : $Ca^{2+} + 2HCO_3^- + 2HCl \Leftrightarrow Ca^{2+} + 2Cl^- + 2CO_2 + 2H_2O$ (cas de Cattenom)

Sur les centrales concernées, l'injection est réalisée en continu en amont des pompes de circulation et les volumes injectés dépendent des caractéristiques physico-chimiques de l'eau du cours d'eau et des conditions de fonctionnement du circuit (mise en service de la recirculation d'hiver). Ces traitements engendrent des rejets de sels tels que les sulfates dans le cas (1) ou chlorures dans le cas (2).

Antitartres organiques

L'usage d'inhibiteurs d'entartrage (polyacrylates, polyphosphonates, poly-phosphocarbonates…) est répandu dans l'industrie pour le traitement des circuits d'eau. L'emploi de ces inhibiteurs permet d'augmenter le facteur de concentration en repoussant la limite de solubilité de sels entartrants (carbonate de calcium) mais aussi en permettant la précipitation des sels sous une forme non-entartrante si la limite de solubilité est dépassée. Les polymères organiques s'adsorbent sur le cristal de carbonate de calcium en formation et entravent son grossissement. Ils empêchent ainsi les cristaux de tartre de s'incruster. Une boue non adhérente se forme et s'élimine avec le flux d'eau.
L'emploi de ce type de produit comme dispersant est aussi recommandé lorsque l'eau de refroidissement est chargée en matières en suspension.
À Nogent, le traitement est réalisé au moyen de polyacrylate injecté tout au long de l'année. Ce traitement conduit à des rejets de polyacrylates et de sodium.

Injection de gaz carbonique pour lutter contre le tartre sur les tubes de condenseurs

L'injection de gaz carbonique rend l'eau du circuit de refroidissement non entartrante. L'équilibre de la réaction chimique (3) se déplace vers la droite : on dissout le calcaire ($CaCO_3$) pour former du bicarbonate

de calcium soluble. En raison du dégazage du CO_2 dans l'aéroréfrigérant, ce traitement perd de son efficacité et ne permet donc pas d'agir sur la totalité du corps d'échange.

$$(3) \quad CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Les sites de Chinon et de Bugey utilisent ce traitement de façon épisodique.

Lessivage chimique à l'acide en phase d'arrêt.

Ce traitement consiste à dissoudre le tartre formé lors du fonctionnement. Le circuit de refroidissement étant préalablement isolé du reste de l'installation, l'acide est injecté en quantité suffisante pour dissoudre le tartre. Le pH doit être à un minimum de 6 et la teneur en sulfates ne doit pas excéder 400 mg/L ou 800 mg/L selon les caractéristiques des circuits (tenues des bétons sensibles aux sulfates).

Ce lessivage produit des effluents chargés de tartre, de sulfates, de métaux et de matière en suspension qui sont rejetés selon des dispositions fixées par les autorisations de rejet.

Ce traitement est utilisé dès lors qu'un début d'entartrage est constaté sur les circuits : il ne permet pas de venir à bout d'un entartrage massif des corps d'échange des aéroréfrigérants qui dans ce cas doivent être remplacés.

Lessivage chimique en phase d'arrêt par injection de gaz carbonique

Le principe de détartrage au gaz carbonique est identique à celui d'un lessivage à l'acide sulfurique. Ces traitements ne sont plus guère mis en œuvre car ils sont assez peu efficaces et peuvent engendrer des décapages dommageables.

7. Contrôle du développement des micro-organismes pathogènes dans les circuits de refroidissement

7.1 Amibes et légionelles dans les circuits d'eau douce

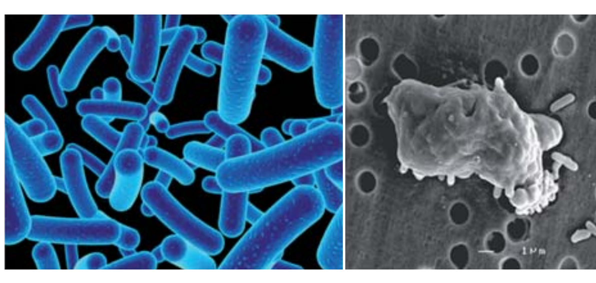
Provenance des micro-organismes

L'eau douce prélevée dans l'écosystème aquatique contient naturellement des micro-organismes qui se développent ensuite dans les installations où la température de l'eau est comprise entre 25 °C et 50 °C. Certains de ces micro-organismes sont pathogènes. C'est le cas des espèces d'amibes *Naegleria fowleri* et des légionelles (*Legionella pneumophila*). Dans le cas de l'amibe *Naegleria fowleri*, l'exposition se fait par contact avec la muqueuse nasale. En ce qui concerne la légionelle, la voie d'exposition est liée à l'inhalation d'aérosols fins contenant la bactérie. Les circuits susceptibles de produire des aérosols contaminés par des légionelles sont les systèmes de refroidissement équipés d'aéroréfrigérants.

Le développement des légionelles et des amibes dans les circuits fermés est favorisé par la température, l'importance des surfaces d'échange – où le biofilm est le siège du développement des micro-organismes – l'apport de matières organiques et l'oxygénation naturelle du circuit.

Les amibes de l'espèce *Naegleria fowleri* sont des protozoaires (animaux unicellulaires) qui peuvent être à l'origine de méningo-encéphalite amibienne primitive (MEAP) maladie très rare mais généralement mortelle. Quant aux légionelles, ce sont des bactéries responsables de la légionellose dite maladie du légionnaire (pneumonie) et de la fièvre de Pontiac (syndrome grippal).

Du fait des plus faibles surfaces d'échange et les temps de séjour plus courts, les circuits ouverts ne sont pas le siège d'un développement de micro-organismes pathogènes (*cf.* §4.2).



Légionelles   Amibe Naegleria fowleri

Traitement pour lutter contre la prolifération des micro-organismes dans les circuits

Circuits de refroidissement des condenseurs équipés de tours aéroréfrigérantes (TAR)

Les micro-organismes présents dans l'eau des circuits peuvent atteindre l'être humain par l'intermédiaire :

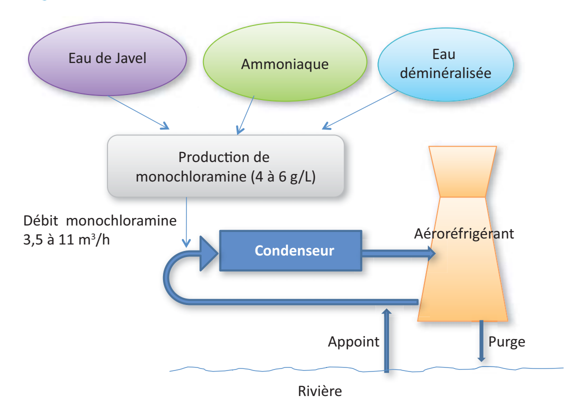
- des aérosols présents dans le panache de vapeur (cas des légionelles) issus des tours aéroréfrigérantes où des gouttelettes d'eau brute sont susceptibles de se disperser dans le flux d'air ambiant (influence du taux de primage 0,003 %),
- les rejets continus (purges) des circuits de refroidissement dont les embruns peuvent être inhalés,
- des baignades et loisirs aquatiques pratiqués à l'aval des rejets (cas des amibes).

Pour se prémunir du risque d'exposition, des actions sont mises en place sur les 11 centrales nucléaires concernées, soit sur 30 circuits équipés de tours aéroréfrigérantes : Belleville (2), Bugey (2 circuits fermés équipés chacun de 2 aéroréfrigérants), Cattenom (4), Chooz (2), Civaux (2), Chinon (4), Cruas (4), Dampierre (4), Golfech (2), St-Laurent (2), Nogent (2). La hauteur des tours varie selon les centrales de 28 m à Chinon à 178 m à Civaux.

Ces actions reposent sur :

- le maintien d'un état satisfaisant de propreté des circuits (nettoyage mécanique ou chimique des circuits en fonctionnement ou à l'arrêt),
- la surveillance et le suivi rigoureux de la présence de ces micro-organismes dans les circuits à savoir : analyse méthodologique du risque, analyses régulières des teneurs en amibes et légionelles dans les circuits selon un protocole bien défini (*cf.* chapitre 12 sur la métrologie),
- la mise en œuvre de traitements biocides (*cf.* encart ci-après) lorsque cela s'avère nécessaire pour maintenir les concentrations dans les circuits ou dans l'environnement aquatique en aval des rejets au-dessous des seuils fixés par la réglementation (*cf.* fig. 6).

Fig. 6 ➜ Traitement biocide à la monochloramine



Les déchets produits (tartres, boues, *packings* d'aéroréfrigérant) lors des opérations de maintenance des circuits de refroidissement (détartrage mécanique, curage des bassins froids des aéroréfrigérants) sont susceptibles d'être colonisés par des micro-organismes ; ils sont traités (hygiénisation) avant d'être éliminés comme déchets industriels banals.



Traitement à la monochloramine à la centrale du Bugey

Autres circuits susceptibles de présenter un risque lié aux micro-organismes

Les autres installations pouvant être colonisées par des micro-organismes pathogènes sont :

- la tour aéroréfrigérante de petite hauteur située sur les purges des grandes tours de réfrigération de Civaux (CVP),
- les échangeurs de circuits auxiliaires (TRI) du bâtiment de traitement des effluents (BTE),
- les chantiers sur lesquels ont été déposés de matériels en contact avec de l'eau contaminée (tubes de condenseurs, packings…).

Ces installations font l'objet d'analyses régulières permettant de déceler l'éventuelle présence de risque et d'initier dès lors les actions de désinfection ou d'arrêt des installations. Par ailleurs, des dispositions sont prises pour protéger le personnel intervenant sur les matériels à risque (masques). Les déchets sur lesquels la mesure a montré la présence de pathogènes sont traités (hygiénisation) avant d'être éliminés comme déchets banals.



Traitements biocides pratiqués sur les centrales refroidies en circuits fermés

Les définitions

L'activité antimicrobienne d'un biocide résulte de l'effet qu'il produit sur les espèces sensibles (inhibition de croissance ou effet létal). Cet effet peut être produit par des composés oxydants comme le chlore ou par méthodes physiques (rayons ultra-violets par ex.). L'activité biocide est déterminée par des essais standardisés (ex. NF EN 1040). Ceci permet d'effectuer des comparaisons entre biocides et de définir les paramètres conditionnant leur action (pH, température, turbidité, DCO, COT, présence de matières organiques, flore totale, …) et donc d'optimiser l'efficacité du traitement.

L'efficacité du traitement biocide est définie par sa faculté à atteindre l'objectif fixé (ex. seuil réglementaire). Elle peut être déterminée en comparant les micro-organismes dénombrés avant et après traitement dans le circuit.

les traitements biocides

L'injection en **continu de monochloramine pendant la période à risque** (oxydant produit *in situ* par un mélange d'ammoniaque et d'eau de Javel) à l'amont des condenseurs. Ce traitement est pratiqué à Chooz, Dampierre et Golfech depuis 1999, à Nogent depuis 2001, à Bugey depuis 2002 à Chinon depuis 2006 et à St-Laurent depuis 2010.

L'injection séquentielle à la monochloramine vise, tout en conservant l'efficacité du traitement, à réduire les quantités de monochloramine injectées (injection réduite de moitié lorsque le traitement est pratiqué 12 h par 24 h) et les rejets chimiques induits. Ce traitement est pratiqué depuis 2005 à Bugey, depuis 2008 à Golfech et depuis 2011 Nogent. Il a été testé à Chooz de 2008 à 2010.

La chloration massive à pH contrôlé consiste à injecter une quantité d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) dans le bassin froid des aéroréfrigérants avec acidification de l'eau, soit pour lutter contre les salissures biologiques, soit pour faire face à une prolifération ponctuelle de micro-organismes (en l'absence de traitement à la monochloramine) ou en cas de défaillance ou d'indisponibilité du système de traitement à la monochloramine (secours). Dans ce cas, la purge du circuit reste fermée durant la durée nécessaire à la décroissance du résiduel de chlore jusqu'à l'atteinte des seuils de rejets acceptables.

Le traitement des amibes aux rayonnements ultra-violets (UV) à Civaux (*cf.* fig. 7)

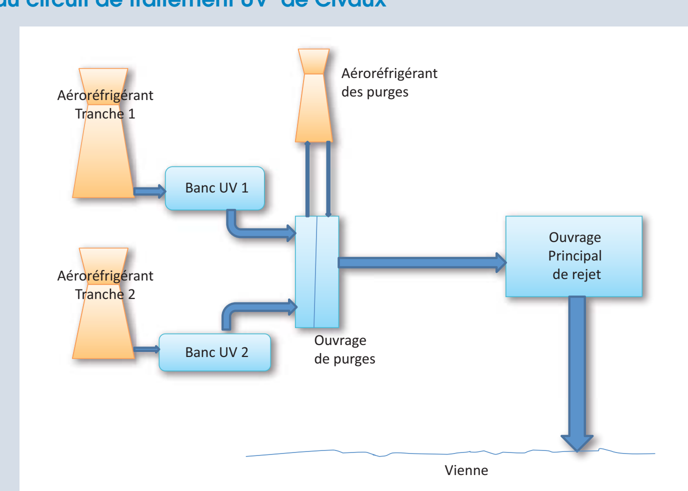
Depuis l'apparition d'amibes pathogènes (Nf) dans l'eau de refroidissement de la centrale de Civaux, un système de traitement utilisant les propriétés biocides des rayonnements ultra-violets (UV) a été installé en 2002 sur les purges des deux tours aéro-réfrigérantes (débit d'eau par purge 1 à 1,4 m^3/s).

Les rayonnements UV sont produits par des lampes délivrant une dose minimale d'insolation de 60 mJ/cm^2 en moyenne journalière à l'eau de purge qui s'écoule en lame dans les bancs de traitement vers le rejet en Vienne. Ce traitement est mis en service pendant la période chaude du 1er juin au 15 octobre conformément au protocole signé entre la centrale de Civaux et la préfecture de la Vienne. Il vise à abattre la concentration en amibes Nf **mesurées** dans les circuits, de sorte à respecter la concentration réglementaire de **90 Nf/L** à ne pas dépasser en Vienne à l'aval de la centrale.

L'efficacité du traitement par UV dépend de la propreté des lampes UV afin d'assurer la dose minimale d'insolation : celles-ci sont donc nettoyées régulièrement au moyen de dispositifs mécaniques et/ou chimiques par injection d'acide phosphorique (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts).

L'efficacité de traitement est aussi fonction de l'épaisseur de la lame d'eau formée dans les bancs de traitement (environ 1 cm) et de la qualité de l'eau à traiter (transmittance). La présence en quantité élevée de matières en suspension dans l'eau brute réduit l'efficacité du traitement. Ceci peut se produire notamment à la suite d'un orage.

Fig. 7 ➜ Schéma du circuit de traitement UV de Civaux



Traitements alternatifs

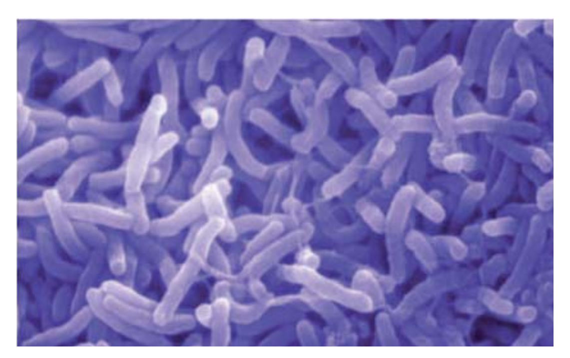
En tenant compte de l'expérience à l'étranger, d'autres types de traitement ont été étudiés et testés sur des boucles d'essai, tels que le traitement de l'eau d'appoint par décarbonatation, clarifloculation, l'utilisation de dioxyde de chlore…

Au vu des résultats, le traitement à la monochloramine sur de l'eau brute reste, pour l'instant, le meilleur moyen de lutter contre le développement des micro-organismes dans les circuits de refroidissement, en termes d'efficacité, d'impact sanitaire et environnemental, et de coût ; des études sur des traitements alternatifs se poursuivent.

7.2 Vibrions dans les circuits de réfrigération à l'eau de mer (sites marins)

Les vibrions sont des bactéries thermophiles (2 à 3 µm de long) présentes dans les eaux naturelles, en particulier dans les eaux saumâtres et salées. Ils se caractérisent par leur grande mobilité dans l'eau. Certaines espèces (*Vibrio parahaemolyticus, Vibrio cholerae…*) peuvent être pathogènes pour les hommes ou les animaux (poissons, crustacés). Ils sont présents dans l'eau de mer et se développent très rapidement dans le biofilm des ouvrages et canaux de rejet, là où la température est élevée et la concentration en chlore résiduel est trop faible.

Ce sujet fait l'objet d'une surveillance sur le site de Gravelines depuis les années 1980, puis sur les autres sites de centrales nucléaires en bord de mer. Les données recueillies *in situ* comme les résultats d'études expérimentales n'imposent pas, de mettre en place un traitement particulier en plus de la chloration pratiquée pour contrôler les salissures biologiques.



Vibrions

8. Protection des installations contre les risques climatiques

8.1 Inondation

Le risque

Les risques d'inondation, pouvant avoir pour origine la crue d'un cours d'eau, de fortes précipitations, une tempête, sont pris en considération lors de la conception des ouvrages.

La submersion de la plate-forme supportant les installations peut en effet conduire à des infiltrations d'eau dans les locaux renfermant du matériel important pour la sûreté nucléaire et les installations de collecte et de traitement des effluents radioactifs. Les inondations peuvent s'accompagner d'un apport de débris de toute sorte qui sont susceptibles de s'accumuler dans les prises d'eau de la station de pompage rendant difficile l'alimentation des circuits de refroidissement.

La protection

La conception des centrales nucléaires doit respecter des Règles Fondamentales de Sûreté (RFS). Celles-ci exigent notamment que la plate-forme sur laquelle sont bâties les installations soit située à un niveau supérieur à la Cote dite Majorée de Sécurité (CMS) définie pour les centrales côtières, fluviales ou en estuaire en fonction des phénomènes météorologiques.

Lorsque cela se justifie, les centrales sont protégées par des digues ou murets à l'extérieur du site. Ces ouvrages sont éventuellement complétés par des écrans étanches à l'intérieur du site pour se prémunir des infiltrations d'eau sous les digues (Blayais, Penly, Flamanville, Belleville…).

La protection contre les inondations repose aussi sur un système d'alerte afin d'anticiper les actions préventives (fermeture d'accès sur la digue, surveillance de la station de pompage, acheminement des ressources humaines et du matériel nécessaire, si le site devait être momentanément isolé). Elle fait l'objet d'un examen périodique pour tenir compte des évolutions réglementaires ou climatiques et s'assurer ainsi de son efficacité permanente. Si nécessaire, les dispositifs sont rehaussés, renforcés voire complétés.

À la suite de l'inondation de la centrale nucléaire de Fukushima, provoquée par le tsunami consécutif au séisme de magnitude 9 survenu le 11 mars 2011, l'ASN a jugé nécessaire de réévaluer le niveau de protection des installations nucléaires en France au regard de ce qui s'est passé au Japon.

La gestion des conséquences

Les règles de gestion des eaux résultant d'une inondation externe sont les suivantes :

- annuler les causes de l'inondation (étancher, colmater les brèches...),
- faire un inventaire des zones inondées (volumes d'eau récupérée, nature de la pollution radioactive ou/et chimique de ces eaux, ...),
- définir, en concertation avec les Autorités, les actions appropriées à mettre en œuvre en les priorisant (analyses des eaux, traitement éventuel des eaux, mise en œuvre de moyens mobiles de pompage, de traitement, ...),
- contrôler la bonne exécution des actions,
- faire le bilan de la situation après retour à la normale (comptabilisation des volumes et quantités rejetés, évaluation de l'impact de ces rejets sur l'environnement...).

Inondation du site du Blayais en 1999

La tempête très violente qui s'est produite dans la nuit du 27 au 28 décembre 1999 a provoqué une inondation partielle de la plate-forme du site de la centrale du Blayais. Les équipes de secours (pompiers) sont intervenues dès l'enclenchement du Plan d'Urgence Interne (PUI) pour procéder aux opérations de pompages. Environ 100 000 m^3 d'eau ont été pompés et régulièrement contrôlés avant d'être rejetés dans la Gironde avec l'accord de l'Administration. Aucune radioactivité n'a été décelée dans les échantillons prélevés. À la suite de cet événement, plusieurs dispositions ont été prises pour renforcer la protection du site contre les inondations (rehausse de la digue, mis en place d'enrochements, amélioration du système d'alerte, modélisation du phénomène de houle par le Code Télémac).

Les contrôles à effectuer sur les eaux avant rejet, voire pendant leur rejet dans l'environnement, font l'objet d'une concertation étroite entre la centrale et l'Administration dans le cadre du Plan d'Urgence Interne qui aura été déclenché.

8.2 Canicule - sécheresse

Des situations exceptionnelles

Les canicules de 2003 et 2006 ont constitué des événements climatiques majeurs par leur ampleur géographique, leur durée, les niveaux élevés de température observés tant dans l'air ambiant que dans l'eau des rivières qui ont subi une forte réduction de leur débit. Cette situation a imposé une gestion particulière des centrales nucléaires avec trois objectifs :

- assurer en priorité la réfrigération des locaux sensibles,
- respecter les limites thermiques en rivières fixées par la réglementation,
- gérer les rejets radioactifs en rivières en fonction des obligations réglementaires relatives au débit (*cf.* chapitre 7 du guide).

Les mesures préventives

Pour limiter les conséquences des périodes de canicule et de sécheresse sur le fonctionnement des installations, il est très important de maintenir la propreté des échangeurs thermiques (condenseurs et échangeurs à plaques). Ainsi, le nettoyage et le contrôle du développement des salissures biologiques permettent d'éviter une dégradation des échanges thermiques (*cf.* §4.1 et §6.4). Par ailleurs, une attention particulière est apportée au rendement thermique des circuits fermés équipés de tours de refroidissement, qui est très sensible aux dépôts de tartre (*cf.* §6.2). En cas d'entartrage massif et irréversible, le *packing* est remplacé.

Il s'agit également de se préparer à l'éventuelle survenue de ces situations liées au changement climatique. Après la canicule de 2003, EDF a élaboré un plan *Aléas climatiques* qui a permis d'affronter la canicule de 2006. Chaque année est organisé un exercice de simulation de canicule. Une veille est mise en place pour suivre les évolutions climatiques et s'interroger régulièrement sur la pertinence et l'efficacité des moyens mis en place.

La gestion des épisodes de canicule et sécheresse

En période de canicule-sécheresse, des modèles prévisionnels de la température des eaux et du débit des cours d'eau, élaborés par EDF, sont utilisés pour aider à la gestion des centrales.

Dans certains cas, les évaporations d'eau sont réduites au prix d'une baisse de production d'électricité pour garantir le partage équitable de la ressource en eau entre les utilisateurs (alimentation en eau potable, agriculture, loisirs, maintien de la qualité d'eau...).

Périodes de canicule - sécheresse des années 2003 et 2006

La **canicule 2003** a été exceptionnelle par sa durée (deux semaines), son intensité et son extension géographique (*cf.* fig. 8).

Couplée à une période de sécheresse, cette situation a affecté les moyens de production d'électricité par l'élévation de la température des rivières et des fleuves, ainsi que par des baisses de débit. Les températures atteintes sur certains fleuves ont conditionné la production d'électricité au respect des limites réglementaires des rejets thermiques ; 6 centrales thermiques classiques ont ainsi été arrêtées, tandis qu'était réduite la production de plusieurs des 58 réacteurs nucléaires.

Pour garantir la production d'électricité qui était menacée, le gouvernement a pris, le 12 août 2003, un arrêté interministériel autorisant, temporairement (jusqu'au 30 septembre) et sous conditions, le dépassement des températures maximales des rejets thermiques.

Cet arrêté prévoyait que « *les centrales effectuant des rejets d'eau dans la Garonne, le Rhône, la Seine et la Moselle pourront continuer à pratiquer ces rejets jusqu'à ce que l'écart entre les mesures de la température de l'eau effectuées à l'amont et à l'aval après mélange atteigne les températures suivantes :*

- *1 degré pour les installations totalement équipées de tours de réfrigération ;*
- *1,5 degré pour celles qui sont situées en bordure de la Seine et de la Moselle ;*
- *3 degrés pour les autres* ».

Concernant 4 centrales thermiques classiques et 16 réacteurs nucléaires, l'utilisation de cet arrêté a permis le maintien en production de plusieurs centrales, en particulier Blayais sur la Gironde, Golfech sur la Garonne, Tricastin sur le Rhône et Cattenom sur la Moselle. Le coût pour EDF, qui a été contrainte de mettre en œuvre des moyens de production de substitution plus onéreux et d'importer de l'électricité, s'est élevé à 300 millions d'euros.

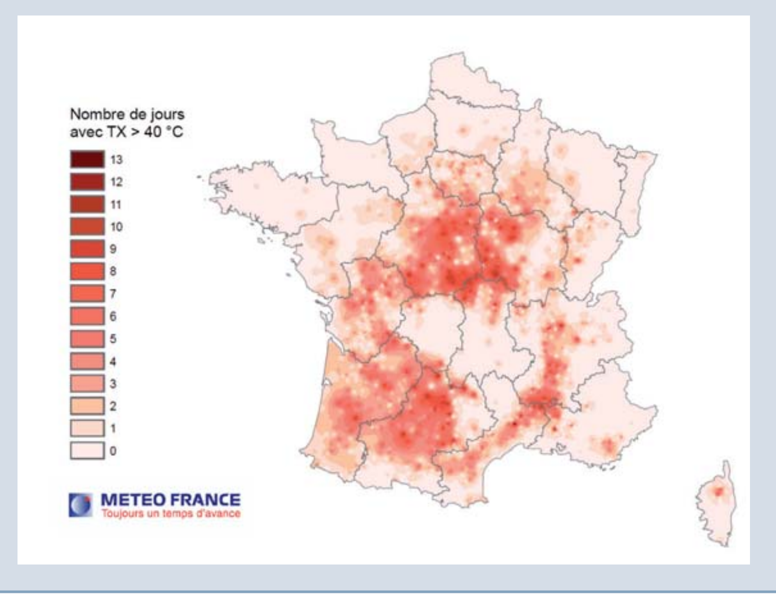
En 2006, les conditions météorologiques exceptionnelles – semblables à celles de 2003 – ont conduit le gouvernement à prendre, le 22 juillet, à la demande d'EDF, un arrêté temporaire pour permette aux centrales nucléaires implantées sur le *Rhône, la Moselle, la Meuse, Garonne et la Seine de continuer à pratiquer ces rejets tant que l'écart, après mélange, entre les mesures de la température de l'eau effectuées à l'amont et à l'aval des centrales reste inférieur aux valeurs suivantes en moyenne journalière :*

- *0,3 °C pour les installations situées en bordure de Garonne ;*
- *1,5 °C pour les installations situées en bordure de Meuse, de Moselle ou de Seine ;*
- *1 °C pour les installations situées en bordure de Rhône équipées, partiellement ou en totalité, de tours de réfrigération atmosphériques, cette valeur étant portée à 3 °C en l'absence de telles tours* ».

En 2003 comme en 2006, l'utilisation de l'arrêté temporaire a conduit l'exploitant à renforcer son programme de surveillance de l'environnement aquatique, notamment de la faune (poissons…) et à évaluer l'incidence des rejets, notamment sur les baignades et les activités de loisirs nautiques en aval.

Ces situations exceptionnelles ont nécessité la coordination des différents acteurs concernés (cabinet du Premier ministre, ministères concernés, RTE, EDF et autres producteurs). Celle-ci s'est, à chaque fois, révélée particulièrement efficace, contribuant ainsi à réduire les conséquences de ces épisodes climatiques.

Fig. 8 ➜ Nombre de jours où la température maximale de l'air était supérieure ou égale à 40 °C, pendant la période du 2 août au 14 août 2003



La réglementation sur les rejets thermiques peut contraindre l'exploitant à réduire la production d'électricité, voire à l'interrompre. Sur ce plan, des dispositions particulières peuvent être définies par l'Autorité de sûreté nucléaire conformément à l'article 25 du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux INB (*cf.* chapitre 5 §4.1 du guide).

En période d'étiage, des lâchers d'eau en provenance des retenues sur des bassins fluviaux sont effectués pour compenser le débit évaporé dans les aéroréfrigérants ; ces lâchers d'eau sont augmentés, dans la mesure des réserves disponibles, pour renflouer les cours d'eau dont les débits sont anormalement bas.

S'agissant des rejets radioactifs, ceux-ci sont gérés par une coordination entre les centrales nucléaires situées sur le même bassin hydrographique (Loire et Rhône). Ils sont interrompus lorsque le débit descend sous le seuil réglementaire.

Les sites marins sont moins sensibles aux épisodes de fortes chaleurs qui ont une moindre incidence sur la température de l'eau de mer.

8.3 Grand froid

Le risque

Les périodes de grand froid (plusieurs jours audessous de -15 °C) affectent particulièrement les prises d'eau, les stations de pompage et les aéroréfrigérants. Ces ouvrages sont sujets :

- à la formation d'un couvert de glace sur les structures réduisant les sections de passage de l'eau ou de l'air,
- au frasil (phénomène de prise en glace de l'eau au contact de l'air froid).

Les réservoirs d'eau ou d'effluents situés à l'extérieur sont aussi touchés (formation de glace dans les évents) ainsi que les capteurs de pression (pression différentielle des tambours filtrants) et de niveau exposés au froid.

La vague de froid peut être suivie de pluie verglaçante ou de neige qui amplifie les risques liés au grand froid.

La protection

Protéger les centrales nucléaires contre les vagues de grand froid est une nécessité pour des raisons de sûreté nucléaire et de disponibilité des installations à une période de l'année où la demande en énergie est forte.



Système de lutte contre la prise en glace d'un aéroréfrigérant

Les vagues de grand froid rencontrées ont conduit à définir un référentiel fixant les règles de dimensionnement des matériels pour résister à ces situations. Ces règles ont nécessité de renforcer la protection des installations en réalisant des modifications (protection des prises d'eau par recirculation d'eau tiède, chauffage des équipements de filtration et de dégrillage à la station de pompage d'eau, protection des aéroréfrigérants et des évents des réservoirs d'eau et d'effluents, calorifugeage voire chauffage des tuyauteries de capteurs de pression et de niveau, …).

Conduite à tenir

Une règle de conduite a été mise à la disposition des exploitants. Ses objectifs sont de mettre les installations en configuration « hiver » et de veiller particulièrement au fonctionnement des matériels sensibles au grand froid selon trois niveaux d'action : phase de veille, de vigilance, de pré-alerte.

Bibliographie

- DGS, Direction Générale de la Santé, CSHPF, Le risque lié aux légionelles. Guide d'investigation et d'aide à la gestion, 1er juillet 2005.
- AFSSET, Risques sanitaires liés aux proliférations de *Legionella* dans l'eau, octobre 2007.
- SFEN, Phénomènes climatiques extrêmes et sûreté des installations nucléaires, Revue RGN n° 5 septembre–octobre 2008.

Pour en savoir plus

- http://www.senat.fr/commission/missions/canicule/index.html (canicule 2003)


©EDF – Queyrel David





7 Nature et contrôle des rejets

1. Introduction

L'exploitation d'une centrale nucléaire entraîne la production d'effluents radioactifs, chimiques et thermiques dont les rejets dans l'environnement sont strictement réglementés (*cf.* fig. 1).

Chaque centrale est équipée de dispositifs de collecte, de traitement et de contrôle des effluents avant rejet. Par ailleurs, une organisation est mise en œuvre afin d'assurer une gestion des effluents dite « optimisée » visant notamment à :

- réduire à la source la production d'effluents, notamment par le recyclage,
- éliminer les rejets des substances radioactives ou chimiques au moyen de traitements appropriés,
- valoriser, si possible, les résidus de traitement.

Rejets radioactifs

Le réacteur nucléaire est le siège de la formation de produits radioactifs (produits de fission, produits d'activation, actinides) dont seule une infime partie se retrouve dans les effluents gazeux et liquides rejetés dans l'environnement. Qu'ils soient rejetés par voie atmosphérique (à la cheminée) ou par voie liquide (vidange de réservoirs), les effluents radioactifs sont systématiquement collectés et traités selon leur nature afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Leur rejet est contrôlé par des analyses préalables ainsi qu'au moyen de dispositifs de mesure de la radioactivité en continu pendant le rejet.

Depuis la mise en exploitation des premières centrales dans les années 1980, des améliorations ont été apportées aux systèmes de collecte et de traitement des effluents, et une gestion optimisée a été mise en œuvre tant en phase de fonctionnement qu'en phase d'arrêt pour maintenance ou renouvellement du combustible.

Par ces actions conjuguées, les rejets d'activité de gaz rares ont été réduits de plus d'un facteur 50 et les rejets liquides hors tritium et carbone 14 l'ont été de plus d'un facteur 100. Les rejets radioactifs ont ainsi atteint un niveau qualifié de « plancher » traduisant la volonté de l'exploitant d'agir pour réduire les rejets d'effluents « *aussi bas que raisonnablement possible, compte tenu des aspects économiques et sociaux* », en vertu du principe d'optimisation (*cf.* chapitres 5 et 8 du guide).

Rejets chimiques

Les substances chimiques rejetées par une centrale nucléaire se classent en deux catégories :

- les substances associées aux effluents radioactifs liquides issus du circuit primaire et des circuits auxiliaires nucléaires ainsi que les eaux d'exhaure des salles des machines (circuit secondaire),
- les produits provenant des autres circuits non nucléaires (circuit de refroidissement des condenseurs, station de déminéralisation, station d'épuration, …).

Dans le premiers cas, il s'agit de substances utilisées pour le contrôle de la réaction nucléaire (acide borique) ou pour le conditionnement chimique des circuits afin de les protéger de la corrosion (lithine, hydrazine, morpholine, ammoniaque, éthanolamine, phosphates, …).

Dans le second cas, les substances en question sont issues du traitement antitartre des circuits de refroidissement (sulfates, chlorures, polyacrylates) et des sous-produits issus du traitement biocide (oxydants résiduels, nitrates, nitrites, AOX[1], THM[2] pour les sites en bord de rivière ; oxydants résiduels et substances organohalogénées-bromées pour les sites en bord de mer). À cela s'ajoutent, pour les centrales concernées, les rejets de cuivre et de zinc dus à l'usure des tubes en laiton des condenseurs.

Pour limiter les rejets chimiques, les substances peuvent être recyclées (cas de l'acide borique), voire éliminées en partie par traitement (cas de l'hydrazine). Dans le cas contraire, elles sont rejetées conformément aux dispositions réglementaires.

Par ailleurs, le fonctionnement d'une centrale produit également des rejets chimiques gazeux non radioactifs provenant essentiellement du circuit secondaire (ammoniac, morpholine...).

Rejets thermiques

Le fluide « eau-vapeur » du circuit secondaire d'une centrale nucléaire suit un cycle thermodynamique dit cycle de Carnot. Au cours du cycle, le fluide « eau-vapeur » échange de l'énergie thermique avec deux sources de chaleur :

- **l'une « chaude »** constituée de l'eau du circuit primaire dont la température varie en fonctionnement de 286 °C à 323 °C,
- **l'autre « froide »** assurée par l'eau du circuit tertiaire de refroidissement du condenseur dont la température peut varier entre, zéro et une trentaine de degrés Celcius.

L'eau brute assurant le refroidissement du condenseur est prélevée soit en mer, soit en rivière, et peut être utilisée :

1. AOX composés organohalogénés.. Signé le 16 septembre 1987.
2. THM composés organohalogénés volatils, chloroforme.

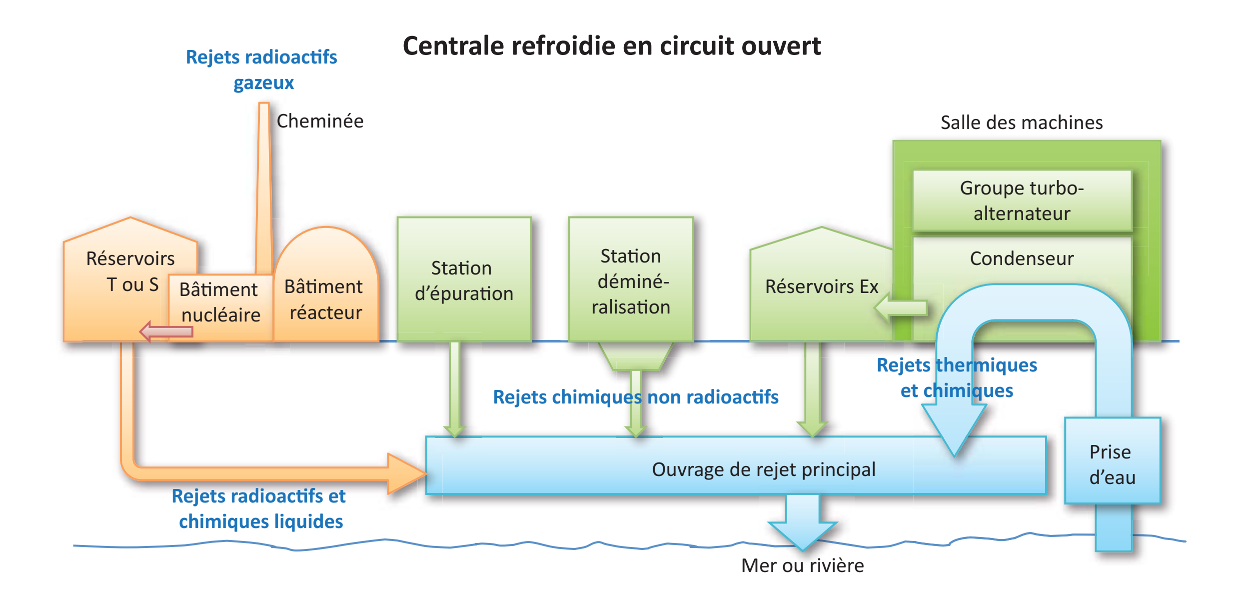
- en circuit « ouvert » dissipant toute l'énergie thermique extraite au condenseur,
- en circuit dit « fermé » où l'eau brute du circuit tertiaire est à son tour refroidie par un aéroréfrigérant.

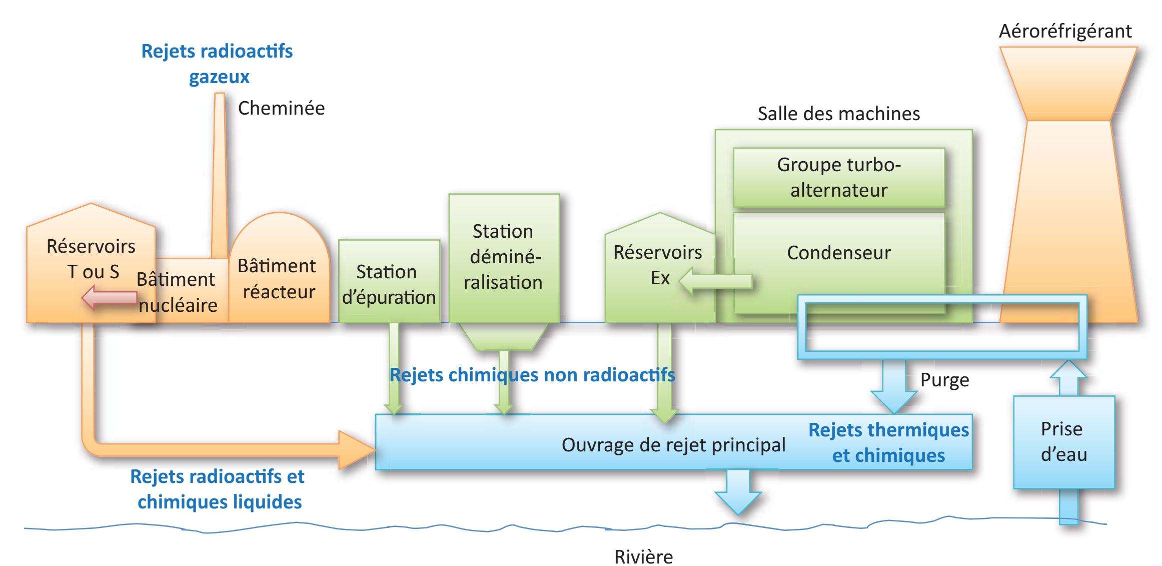
Les centrales refroidies en circuit « ouvert » sont implantées en bord de mer et en bordure de fleuves à gros débit (Rhin, Rhône). L'échauffement du milieu aquatique est dans ce cas de quelques degrés en aval des rejets après mélange. Alors que les centrales des cours d'eau à faible ou moyen débit (Seine, Loire, Vienne, Garonne, Meuse, Moselle) sont refroidies en circuit dit « fermé », ce qui limite l'échauffement à quelques dixièmes de degrés en aval du rejet après mélange.



Centrale nucléaire de Belleville sur la Loire
(2 × 1300 MWe refroidie en circuit fermé - 165 ha).

Fig. 1 ➜ Schéma de principe des circuits de rejets d'une centrale nucléaire





2. Installations de collecte, de traitement et de rejet des effluents

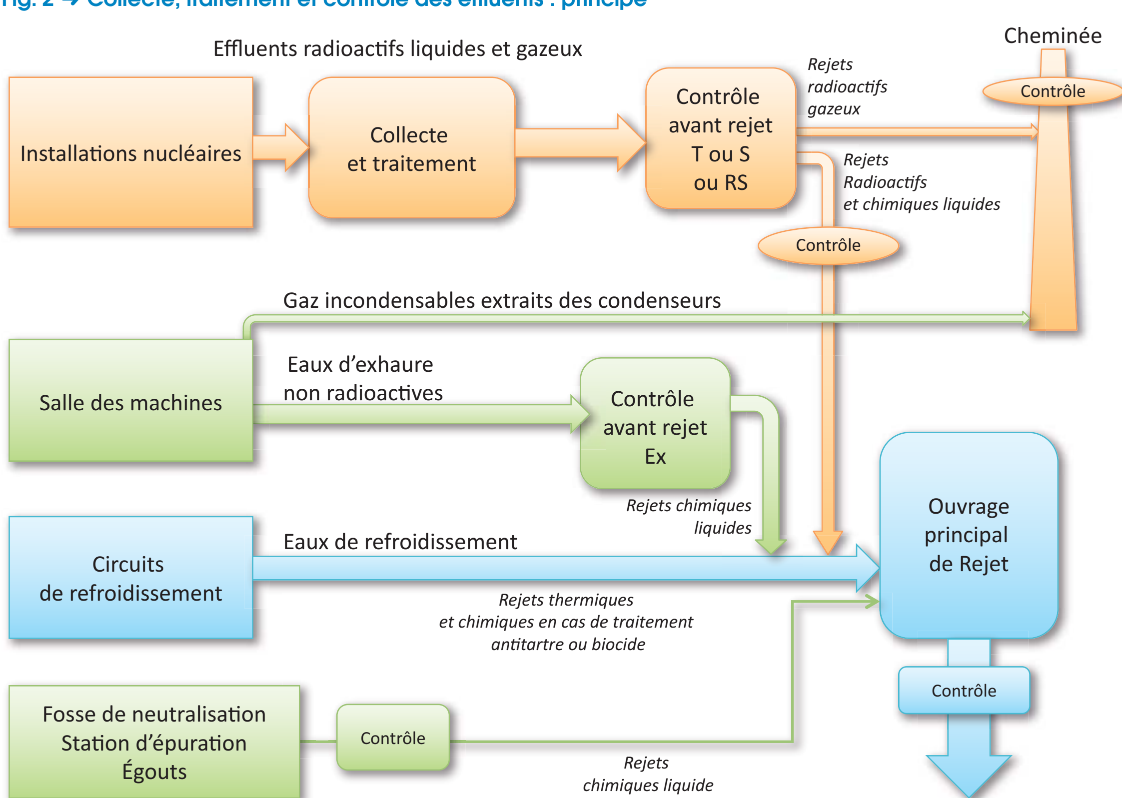
Les centrales nucléaires sont conçues pour permettre une collecte sélective des effluents. Celle-ci permet de séparer les effluents selon leur origine et leur composition afin d'adapter le mode de traitement à leurs caractéristiques. Après collecte et traitement éventuel, les effluents sont analysés avant d'être rejetés dans l'environnement selon des règles définies par la réglementation.

Parmi les différents types de rejet, on distingue :

- les rejets **radioactifs** liquides et gazeux issus des circuits nucléaires (circuit primaire et auxiliaires nucléaires, piscine de désactivation du combustible usé…) qui contiennent également des substances chimiques,
- les rejets **chimiques non radioactifs** provenant :
  - des salles des machines (circuit dit « secondaire » renfermant les groupes turbo-alternateur, les postes d'eau…),
  - des circuits d'eau brute de refroidissement des condenseurs et des autres circuits de refroidissement (circuit dit « tertiaire »),
  - de la fosse de neutralisation des effluents de la station de déminéralisation,
  - de la station d'épuration des eaux usées (eaux vannes),
  - des égouts collectant notamment les eaux de pluie,
- les rejets **thermiques** liés à l'échauffement de l'eau brute (circuit tertiaire) traversant les tubes de condenseurs et les échangeurs de chaleur.

Si la configuration des circuits d'effluents peut varier selon les paliers de puissance et le mode de refroidissement des condenseurs (*cf.* annexe 7.2), les principes de conception sont identiques pour toutes les centrales (*cf.* fig. 2). Ceci vaut aussi pour les circuits d'effluents du réacteur EPR, à l'exception toutefois du circuit de traitement de effluents radioactifs gazeux hydrogénés qui présente des particularités (*cf.* § 3.2).

Fig. 2 ➜ Collecte, traitement et contrôle des effluents : principe



3. Domaine radioactif

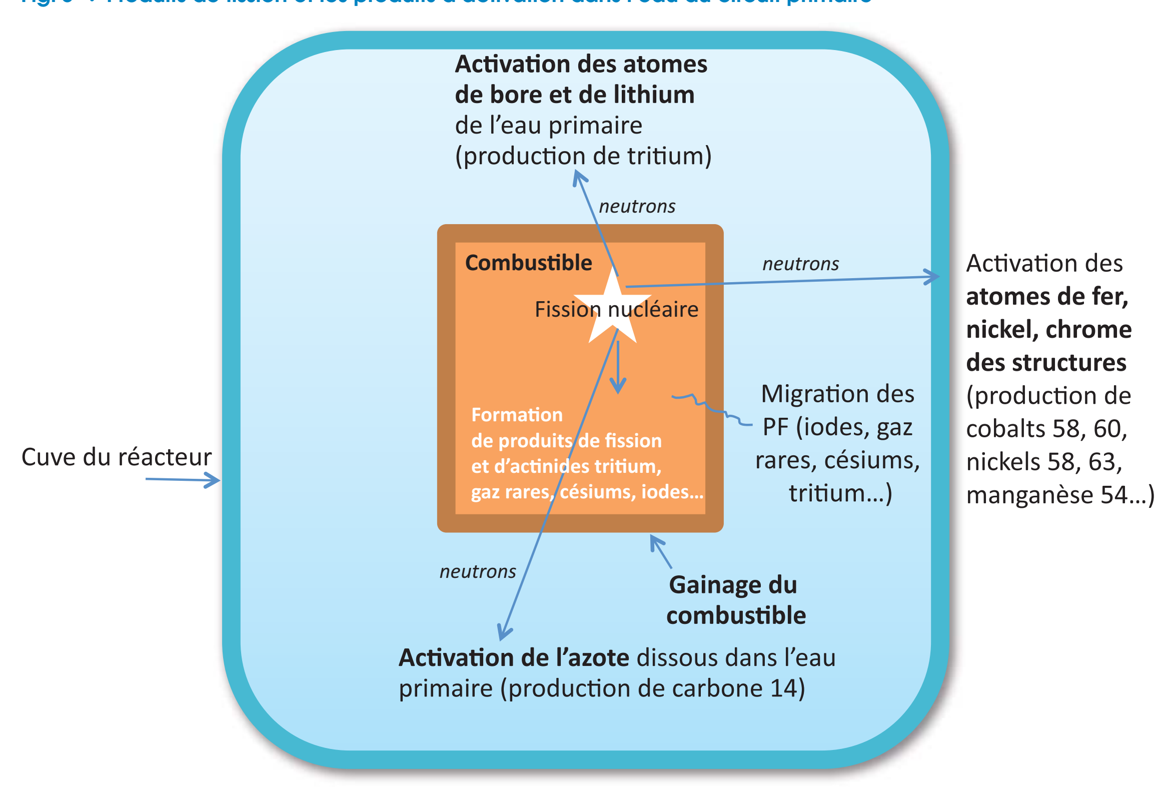
3.1 Origine de la radioactivité des effluents rejetés

L'énergie produite par un réacteur nucléaire provient de la fission nucléaire (*cf.* annexe 1). Le réacteur est donc le siège de la formation de substances radioactives (radionucléides) dont seule une infime partie se retrouve dans les effluents gazeux et/ou liquides.

Parmi les substances radioactives susceptibles d'être présentes dans les effluents, on distingue (*cf.* fig. 3) :

- les produits créés dans le combustible par fission des atomes d'uranium ou de plutonium. Les radionucléides dits **produits de fission** (PF), tels que les iodes 131 et 133, les césiums 134 et 137, le krypton 85, le tritium, le carbone 14, le strontium 90 restent en quasi-totalité confinés dans le combustible. Ils peuvent toutefois migrer dans l'eau du circuit primaire, en cas d'inétanchéité du gainage du combustible, et donc se retrouver dans les effluents.
- les produits créés à l'extérieur du combustible par l'action des neutrons de fission sur les structure en acier du réacteur (cuve, tuyauteries, grappes de commandes ou sources de neutrons) ainsi que sur les éléments chimiques contenus dans l'eau du circuit primaire, tels que le bore et le lithium. On les appelle les **produits d'activation** (PA) dont les principaux sont les cobalts 58 et 60, le manganèse 54, le l'antimoine 124, l'argent 110m mais aussi le tritium et le carbone 14,
- les actinides formés dans le combustible par capture de neutrons (américium 241, curium 242, plutonium 239…). Ces radionucléides se caractérisent par l'émission d'un rayonnement alpha. Comme les produits de fission, les actinides restent confinés en quasi-totalité dans le combustible.

Fig. 3 ➜ Produits de fission et les produits d'activation dans l'eau du circuit primaire



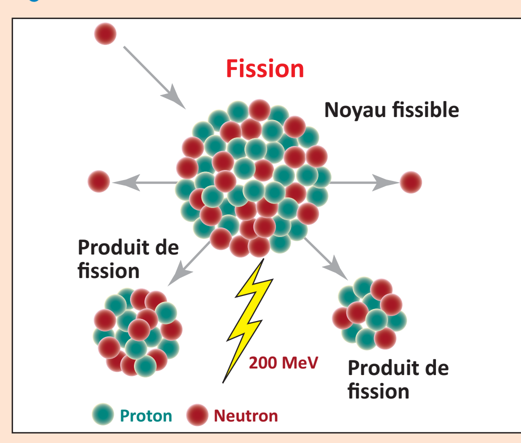


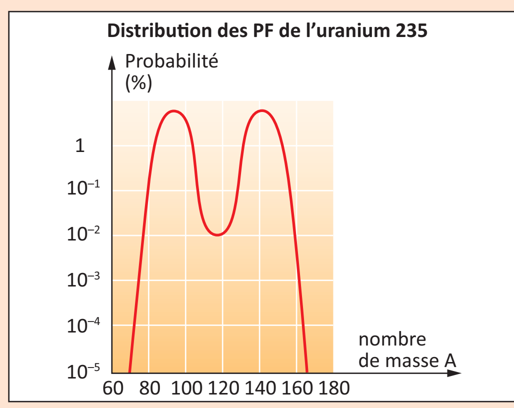
Principaux radionucléides des effluents radioactifs

Formation des produits de fission (PF)

La fission de l'uranium 235 ou du plutonium 239 engendre généralement la production de deux noyaux de masse intermédiaire appelés **produits de fission**. Chaque fission dégage une énergie de 200 MeV, soit 3,2 × 10^{-11} Joules (*cf.* fig. 3.1). La fission de 1 kg de matière produit une énergie thermique de 8 × 10^{13} Joules, soit l'équivalent de 1 900 tonnes de pétrole. Un réacteur de 1 000 MWe consomme environ 4 kilogrammes de matières fissiles par jour.

Fig. 3.1 ➜ Fission de l'uranium 235





Les produits de fission (PF) sont confinés, en quasi-totalité, dans le combustible nucléaire composé de 40 000 à 50 000 crayons regroupés en assemblages (*cf.* fig. 3.2).

Principaux PF

(Légende : p = période radioactive ou demi-vie ; β, γ = type de rayonnement émis ; énergie du rayonnement keV, (%) pourcentage par désintégration)

Famille des gaz rares

Le krypton 85, p=10,7 ans, β 687 keV (99,6 %), γ 514 keV (0,44 %)

Le xénon 133, p=5,3 jours, β de 346 keV (99,1 %), γ 81 keV (99,8 %).

Famille des halogènes gazeux

L'iode 131, p=8 jours, **l'iode 132**, p=2,3 heures, l'**iode 133**, p=20,9 heures, **l'iode 134**, p=53 minutes et **l'iode 135**, p=6,6 heures ont des périodes très courtes et émettent des rayonnements β et γ très énergétiques.

L'iode 129 produit dans le réacteur reste confiner dans le combustible en quasi-totalité.

Fig. 3.2 ➜ Rechargement du combustible



Autres radionucléides

Le césium 134, p=2,1 ans et le **césium 137**, p=30 ans émettent des rayonnements β et γ très énergétiques.

Le Strontium 90, p=29,1 ans, émet des rayonnements β très énergétiques ; c'est un émetteur β pur.

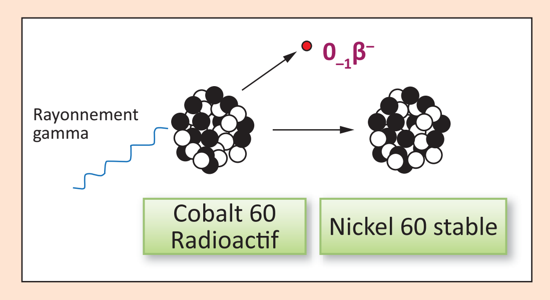
Le carbone 14, p=5700 ans, β de 156 keV (100 %), est produit en très faible quantité par fission ternaire. C'est un émetteur dit « bêta pur ».

Le tritium, p=12,3 ans, β pur d'énergie (18,6 keV), est également formé dans les réacteurs des centrales nucléaires par fission ternaire de certains isotopes d'uranium et de plutonium. Dans le cas des réacteurs à eau sous pression, le tritium reste confiné en quasi-totalité dans le combustible. La diffusion du tritium au travers du gainage en zircaloy est minime (<< 1 %).

Formation des produits d'activation (PA)

Lorsque le noyau d'un atome est frappé par un neutron, ce dernier peut être absorbé par le noyau qui devient instable donc radioactif. Pour retrouver sa stabilité, le noyau va se désintégrer en émettant des rayonnements.

Fig. 3.3 ➜ Désintégration radioactive du noyau de cobalt 60



Principaux PA

- **Le cobalt 60,** p= 5,3 ans, provient du cobalt 59 qui compose certains matériaux inoxydables (portées de robinets utilisés sur le circuit primaire), β de 317 keV (99,9 %), γ de 1170 (99,8 %), 1330 keV (100 %).

- **Le cobalt 58,** p=71 jours, provient du nickel 58 des aciers inoxydables (inconel des tubes des générateurs de vapeur), β de 475 keV (15 %), γ de 811 keV (99,5 %).
- **L'antimoine 124,** p=60 jours, provient de l'antimoine 123 qui est présent notamment dans les grappes source de neutrons en alliage d'antimoine et de béryllium. Il émet des rayonnements β, 211 keV (8,7 %), 611 keV (51,2 %), 2302 keV (23,4 %) et des rayonnements γ, 603 keV (98,2 %), 1691 keV (47,5 %).
- **L'argent 110 métastable,** p=250 jours, provient de l'argent 109 présent notamment dans les grappes de commande de la réaction nucléaire en alliage d'argent, d'indium et de cadmium. Il émet des rayonnements β· 83 keV (67,5 %), 530 keV (30,8 %) et des rayonnements γ de 658 keV (94,7 %) et 885 keV (74,1 %).
- **Le manganèse 54,** p=312 jours, provient du chrome 52 et du chrome 53 présents dans les aciers. Il n'émet qu'un rayonnement de 835 keV (100 %) ; c'est un radionucléide dit gamma pur.
- **Le fer 59,** p=45 jours, provient du fer 58 et du cobalt 59 des aciers, β 274 keV (45,2 %), 466 keV (53,3 %), et γ 1 099 keV (56,6 %) et 1292 keV(43,2 %).
- **Le chrome 51,** p=28 jours, provient du fer 54, du chrome 50 et du chrome 52 des aciers inoxydables ; c'est un radionucléide dit gamma pur, de 320 keV (9,9 %).
- **Le nickel 63,** p=99 ans, provient du nickel 62 des aciers inoxydables, β 67 keV (100 %) ; c'est un radionucléide dit bêta pur.
- **Le carbone 14,** p=5700 ans, est essentiellement formé par activation neutronique de l'oxygène 17 et de l'Azote 14 contenu dans l'eau du circuit primaire et de l'oxygène 17 dans le combustible. La quantité de carbone 14 formée dépend de l'énergie produite par le réacteur. C'est un émetteur pur de 156 keV (100 %).
- **Le tritium,** p=12,3 ans, est aussi produit par activation neutronique d'éléments légers, tels que le bore 10 et le lithium 6 présents dans le circuit primaire des réacteurs à eau sous pression (environ 86% pour le bore et 14 % pour le lithium). Dans ce cas, la formation de tritium est liée à l'énergie produite par le réacteur. Le tritium est aussi produit par activation des grappes sources de neutrons utilisées dans les réacteurs du palier 1300 MWe et 1450 MWe. De même propriété chimique que l'hydrogène, il se combine avec l'oxygène pour former notamment de l'eau tritiée (HTO). Il n'existe pas de moyens industriels[1] permettant d'éliminer le tritium contenu dans les effluents. Celui-ci est donc rejeté dans l'environnement par voies liquide et gazeuse. C'est un émetteur pur (18,6 keV (100 %)).

Actinides émetteurs de rayonnement alpha

La réaction nucléaire s'accompagne aussi de la formation de noyaux lourds sous l'effet des neutrons émis par la fission. Ces noyaux lourds regroupent les **actinides majeurs** (isotopes de l'uranium et du plutonium) et les **actinides mineurs** (isotopes du neptunium, de l'américium, et du curium). Les analyses réalisées sur les effluents liquides et gazeux doivent vérifier l'absence de ces substances dans les rejets.

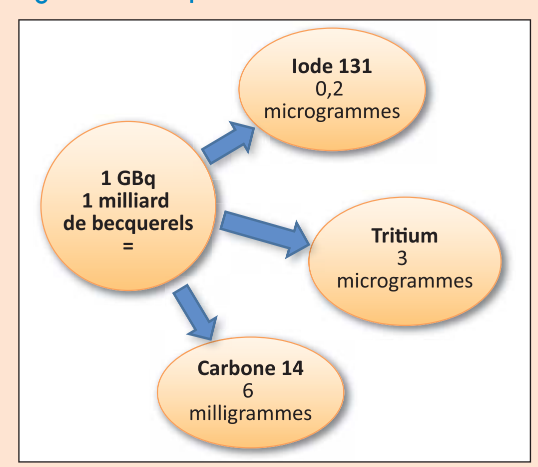
Unités de la radioactivité

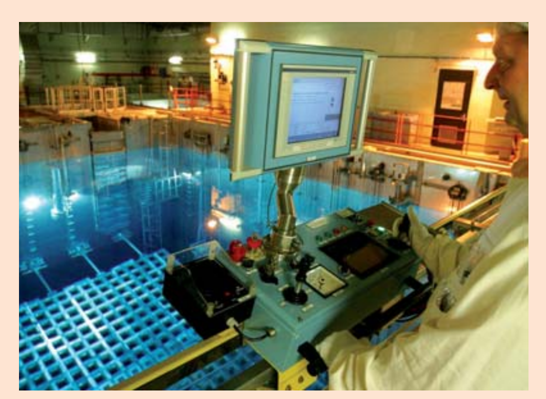
La radioactivité (propriété de certains corps à se désintégrer en émettant des rayonnements) s'exprime en **becquerel (Bq)**. Le becquerel correspondant à une désintégration par seconde est une unité très petite. On utilise alors des multiples de Bq pour exprimer les activités des radionucléides.

1 kilobecquerel (1 kBq) = 1 000 Bq = 10^3 Bq
1 Megabecquerel (1 MBq) = 1 000 000 Bq = 10^6 Bq
1 Gigabecquerel (1 GBq) = 1 000 000 000 Bq = 10^9 Bq
1 Terabecquerel (1TBq) = 1 000 000 000 000 Bq = 10^{12} Bq

Pour chaque substance, il existe une correspondance entre l'activité exprimée en Bq et la masse en gramme (*cf.* fig. 3.4).

Fig. 3.4 ➜ Correspondance activité vs. masse





Piscine de désactivation du combustible usé à la centrale de St-Alban. La piscine où le combustible usé séjourne pendant plusieurs années avant d'être évacué à l'usine de retraitement, est équipée d'un circuit de refroidissement et de purification qui lui est propre.

1. Des techniques permettant de concentrer le tritium ont été développées en laboratoire sur des effluents fortement tritiés (plusieurs TBq/L) ; elles ne sont pas applicables aux effluents peu tritiés des centrales nucléaires d'EDF (quelques MBq/L).

3.2 Effluents radioactifs gazeux

Nature, collecte et traitement

Les effluents radioactifs gazeux se divisent en deux grandes catégories (*cf*. fig. 4) :

- les effluents gazeux dits **« hydrogénés »** proviennent du dégazage des effluents liquides issus du circuit primaire. Ces effluents contiennent de l'hydrogène dissous car l'eau du circuit primaire est volontairement saturée en hydrogène afin d'éviter sa décomposition sous l'effet des rayonnements (radiolyse). La radioactivité des effluents gazeux est due à la présence dans l'eau primaire de produits de fission gazeux (krypton, xénon, iode, ...) ou de produits d'activation (tritium...).

  Afin d'éviter tout mélange avec l'oxygène de l'air, ces effluents hydrogénés sont collectés et stockés dans des réservoirs préalablement remplis d'azote, gaz inerte. La capacité minimale du stockage, dénommée RS, est fixée par la réglementation à 2 000 Nm^3 [1]. Les effluents sont entreposés pendant au moins 30 jours, durée réglementaire, pour permettre à la radioactivité de décroître suffisamment avant rejet. Les gaz radioactifs ont pour la plupart d'entre eux des périodes inférieures à la semaine. Un stockage de 30 jours diminue leur radioactivité initiale d'un facteur 10 au moins.

  Ces effluents sont analysés avant le rejet qui s'effectue par la cheminée après passage sur des filtres absolus à Très Haute Efficacité (THE), pour la rétention des aérosols, et sur des Pièges à Iodes à charbon actif (PI). L'efficacité des dispositifs de filtrations (> 1000 pour les THE ; > 100 pour les pièges à iodes) sont testés périodiquement. Ces rejets occasionnels, dits **« concertés »,** représentent un volume annuel d'environ 2 000 Nm^3 pour une unité de production.

- Sur le réacteur EPR, la conception des circuits est quelque peu différente. Les effluents « **hydrogénés** » sont directement orientés vers un circuit de traitement spécifique.
- Les effluents gazeux dits **« aérés »** proviennent :
  - de la collecte des évents des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du bâtiment du réacteur dénommé BR,
  - de l'air de la ventilation des locaux de l'îlot nucléaire. La ventilation maintient les locaux en légère dépression par rapport à l'extérieur et évite ainsi les fuites de gaz ou de poussières contaminées vers l'environnement.

Ces effluents constituent, en volume, l'essentiel des rejets gazeux radioactifs, soit 1 à 2 milliards de Nm^3 par unité et par an.

L'air de ventilation transite par des filtres absolus à Très Haute Efficacité (THE) et, dans certains circuits, sur des pièges à iodes à charbon actif avant d'être rejeté en continu à la cheminée. Ces rejets sont dits « **permanents** ».

Les opérations de dépressurisation de l'air du Bâtiment Réacteur (BR), en phase d'arrêt, conduisent à des rejets dits **« concerté »** qui représentent un volume compris entre 150 000 à 250 000 Nm^3 par unité et par an.

Les gaz incondensables extraits des condenseurs des turbo-alternateurs sont susceptibles d'être radioactifs en cas de défaut d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur ; les gaz radioactifs et le tritium du circuit primaire pouvant alors migrer vers le circuit secondaire. Ces incondensables sont contrôlés par une chaîne de mesure de la radioactivité en continu et orientés vers la cheminée.

Enfin, l'air de ventilation de certains bâtiments non raccordés à la cheminée (laverie, atelier chaud, bâtiment des auxiliaires de conditionnement des déchets « BAC », laboratoire chaud de chimie, laboratoire « Effluents »...) est filtré avant évacuation par son exutoire spécifique.

Contrôles des effluents radioactifs gazeux avant rejet (rejets dits concertés)

Les effluents des réservoirs RS et l'air du bâtiment du réacteur BR sont contrôlés avant rejet. Les analyses sont effectuées au laboratoire « Effluents » sur des prélèvements d'air et d'aérosols et portent notamment sur l'activité β globale et l'analyse des constituants. Par ailleurs, il est contrôlé que ces effluents ne contiennent pas d'émetteurs alpha d'origine artificielle dont le rejet n'est pas autorisé (*cf*. chapitre 10 § 3.2 du guide).

Contrôles des rejets gazeux à la cheminée

Chaque cheminée de rejet est instrumentée pour permettre les contrôles des rejets radioactifs gazeux (*cf*. chapitre 10 § 3.2 du guide).

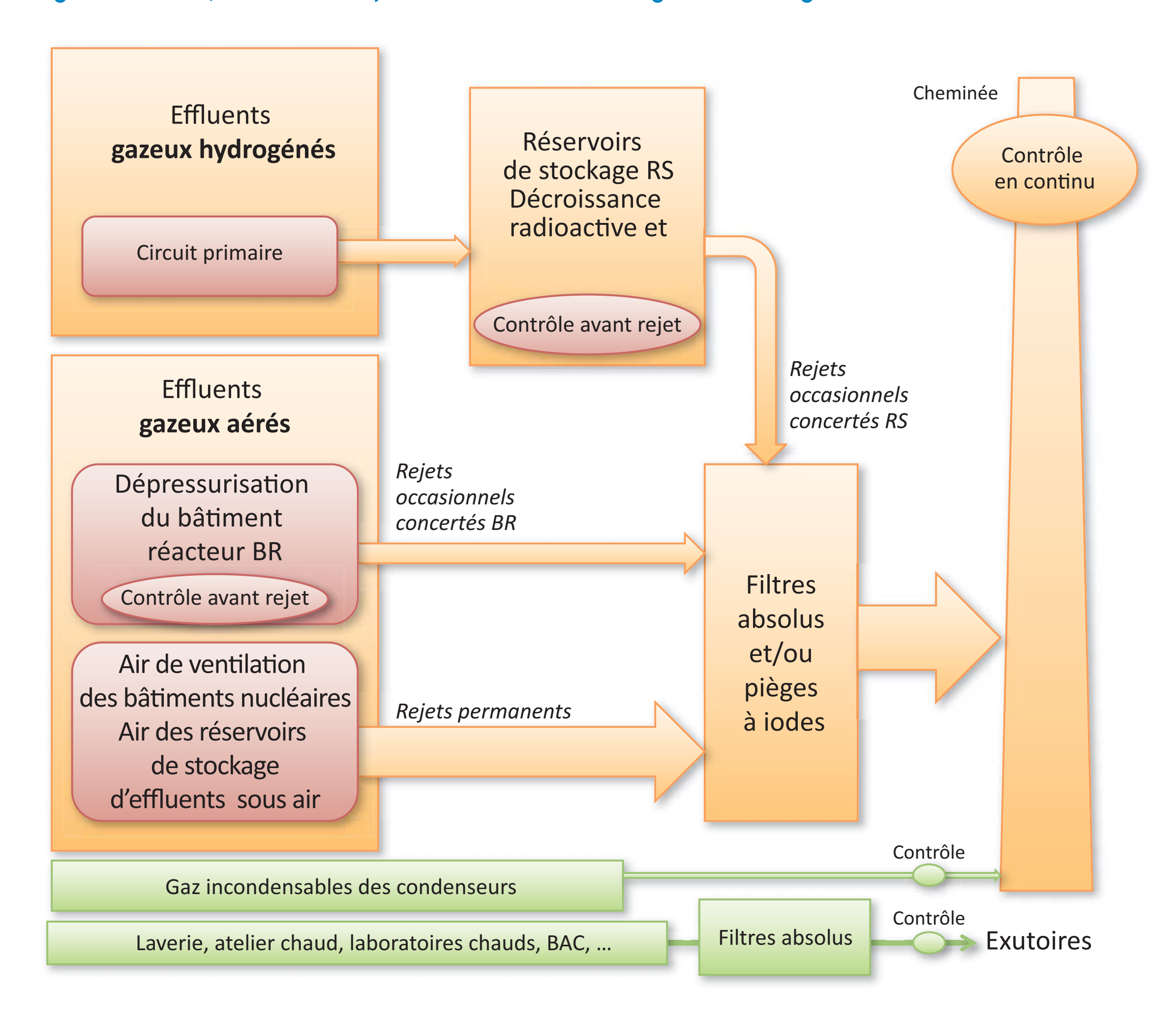
Les contrôles sont réalisés **en permanence par :**

- une mesure continue de la radioactivité bêta globale de l'air rejeté au moyen de deux appareils redondants, dont les alimentations électriques sont secourues en cas de perte de la source électrique principale. Ces appareils retransmettent la mesure et une alarme en salle de commande en cas de dépassement d'un seuil fixé réglementairement à 4 MBq/m^3,
- une mesure continue du débit de rejet des effluents à la cheminée. Cette mesure est doublée, secourue électriquement et enregistrée en salle de commande (m^3/s).

Les contrôles **périodiques**, effectués sur quatre périodes mensuelles définies par les autorisations à savoir : du 1er au 7, du 8 au 14, du 15 au 21, du 22 à la fin du mois, concernent *:*

1. Nm^3 : normal mètre cube ; volume de gaz déterminé aux conditions normales de température et de pression.

Fig. 4 ➜ Collecte, traitement et rejet des effluents radioactifs gazeux et des gaz extraits des condenseurs

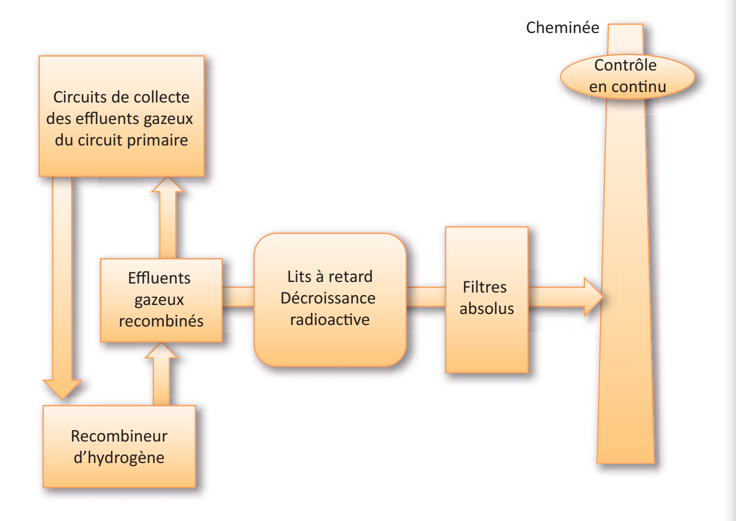


- **les principaux gaz rares** sur un prélèvement instantané,
- les **aérosols** prélevés sur filtre pour la mesure de l'activité bêta globale, la détermination des principaux radionucléides (PF et PA) et la mesure α globale d'origine artificielle,
- **les halogènes (iodes)** pour l'analyse γ globale et la détermination des iodes 131 et 133,
- le **tritium gazeux** prélevé sur barboteur,
- le **carbone 14** capté sur un tamis moléculaire prélevés tous les trimestres.

Effluents radioactifs gazeux issus du circuit primaire hydrogéné sur l'EPR

Sur l'EPR, le traitement de ces effluents gazeux radioactifs issus du circuit primaire est différent de celui des autres centrales. Ce circuit régule le taux d'oxygène et d'hydrogène des gaz au moyen d'un recombineur. Les gaz recombinés sont réutilisés dans les circuits ou orientés vers les « lits à retard » avant rejet à la cheminée. Les « lits à retard » permettent la décroissance radioactive des gaz rares (xénons, kryptons) et la rétention quasi-totale des iodes et des aérosols radioactifs (*cf.* fig. 5). Ces rejets sont assimilés à des **rejets permanents**.

Fig. 5 ➜ Effluents gazeux hydrogénés sur le réacteur EPR (principe)



Limites de rejet

Pour les rejets radioactifs gazeux, l'autorisation fixe (*cf.* encart) :

- une **limite annuelle** à ne pas dépasser pour chacune des cinq catégories de radionucléides réglementés. Celle-ci s'exprime en multiple de Bq (GBq ou TBq),

- des limites visant à assurer une bonne diffusion des rejets dans l'atmosphère en définissant :
  - un **débit d'activité** à ne pas dépasser à la cheminée, exprimé en Bq/s,
  - une **activité volumique maximale** pour l'air ambiant au niveau du sol, en Bq/m^3.

Niveau des rejets d'effluents radioactifs gazeux

La déclaration des rejets par catégories de radionucléides est établie sur la base des mesures réalisées dans le cadre des contrôles réglementaires et des règles de comptabilisation fixées par l'administration (*cf.* annexe 7.4).

Pour les cinq catégories de radionucléides réglementés, les **rejets annuels moyens ramenés à un réacteur** est le suivant :

- les rejets de **gaz rares** (krypton, xénon) varient de 300 GBq à 2 300 GBq selon les paliers de puissance (*cf.* fig. 6). Les gaz rares étant inertes, ils ne sont pas retenus par les systèmes de filtration (filtres THE et pièges à iodes). Les valeurs plus élevées de 2003, 2007 et 2008 sont dues à des défauts d'étanchéité du gainage du combustible ; les assemblages de combustible défectueux ont été remplacés.

Limites de rejet pour les effluents radioactifs gazeux de la centrale nucléaire de Civaux sur la Vienne (deux unités de 1450 MWe)

D'après Décisions ASN n° 2011-DC-0233 du 5 juillet 2011, n° 2009-DC-0139 et n° 2009-DC-0138 du 2 juin 2009

Catégorie de radionucléides	**Limite annuelle** Pour 2 réacteurs (GBq)	Limite de **débit d'activité** par cheminée 2 cheminées à Civaux (Bq/s)
Gaz rares	25 000	5×10^7 (en moyenne sur 24 h)
Iodes	0,8	5×10^2 (en moyenne sur la période de prélèvement)
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta ou gamma	0,1	5×10^2 (en moyenne sur la période de prélèvement)
Tritium	5 000	5×10^6 (en moyenne sur la période de prélèvement)
Carbone 14	1 400	-

Catégorie de radionucléides	**Limite d'activité** volumique mesurée dans l'air au niveau du sol (Bq/m^3)
Tritium	50
Activité bêta globale pour les aérosols d'origine artificielle	0,01

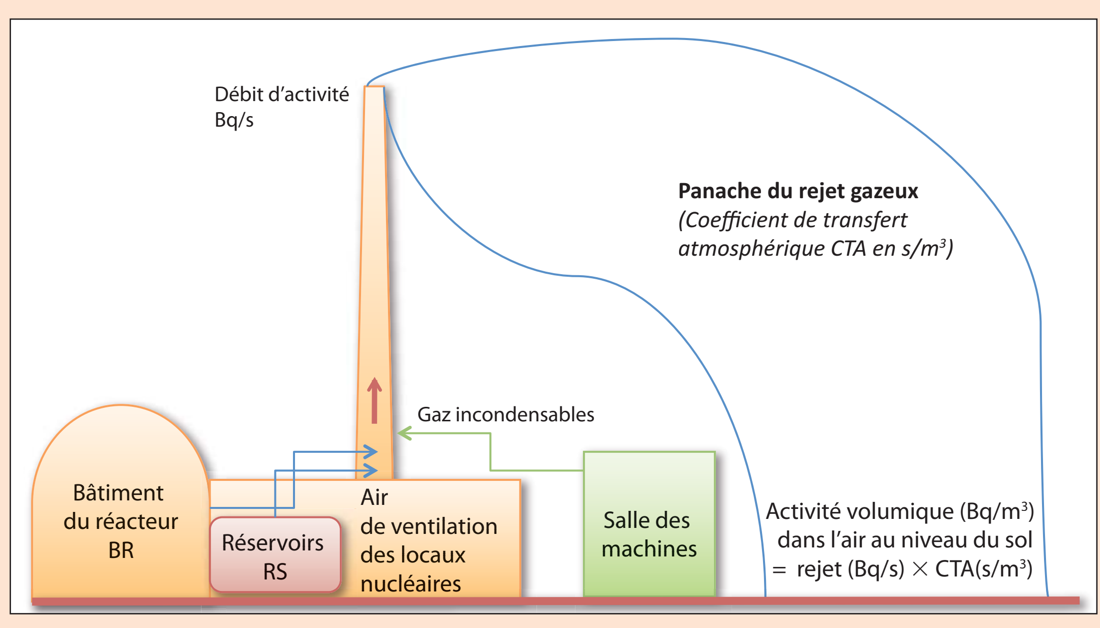
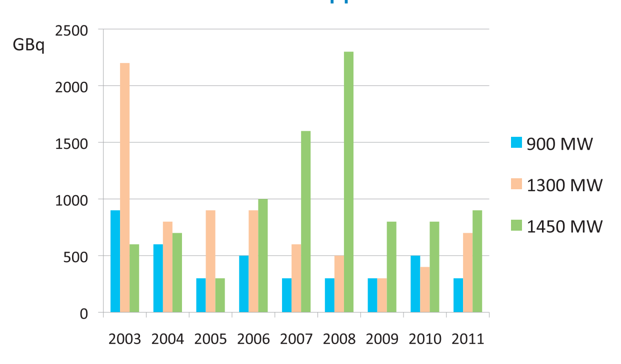
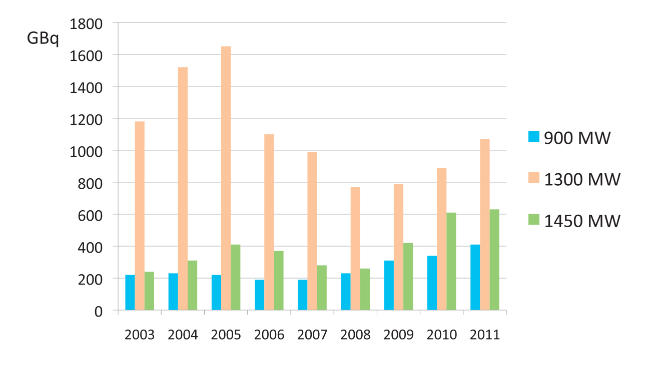


Fig. 6 ➜ Rejet annuel moyen de gaz rares à la cheminée rapporté à un réacteur



- Le **tritium gazeux** est rejeté à 90 % sous la forme de vapeur d'eau tritiée. L'activité des rejets est d'environ 300 GBq/réacteur pour le palier de 900 MWe et le palier 1 450 MWe. Le rejet est plus élevé sur le palier de 1 300 MWe. Cette différence s'explique par la conception des réservoirs de stockage des effluents primaires (TEP) dont la ventilation à gros débit est à l'origine de rejet de vapeur d'eau tritiée. Des modifications ont été réalisées sur ces circuits afin de réduire ces débits et, par conséquent, les rejets annuels qui sont passés de 1 600 GBq en 2005 à environ 800 GBq en 2010 en moyenne par réacteur (*cf.* fig. 7).

Fig. 7 ➜ Rejet annuel moyen de tritium gazeux à la cheminée rapporté à un réacteur



- Le **carbone 14**[1] est essentiellement rejeté à la cheminée sous la forme de méthane (CH4) et de gaz carbonique (CO2). Le carbone 14 est mesuré sur un prélèvement réalisé par un tamis moléculaire (*cf.* chapitre 10 sur la métrologie). Ces rejets peuvent aussi être calculés à partir de l'énergie électrique brute produite à raison de 0,200 GBq/MWe.an[2]. Les rejets annuels d'activité de carbone 14 sont en moyenne compris entre 130 GBq et 270 GBq par unité de production.
- Les rejets d'**iodes** sont infimes (< 0,1 GBq/réacteur en moyenne) compte tenu du bon confinement des circuits nucléaires et de l'efficacité des systèmes de piégeage en cas de fuite.
- Les rejets de **produits de fission (PF) et de produits d'activation (PA)** émetteurs β ou γ, présents sous forme de **poussières** (aérosols), sont, comme les rejets d'iodes, extrêmement faibles (0,004 GBq/réacteur en moyenne).

3.3 Effluents radioactifs liquides

Nature et origine

Les **effluents radioactifs** liquides sont classés selon leur provenance ; on distingue :

- les effluents provenant du circuit primaire dits « **effluents primaires hydrogénés** » contiennent des gaz de fission (xénons, iodes, césiums, ...), des produits d'activation (cobalts, manganèse, tritium, carbone 14...) mais aussi des substances chimiques telles que l'acide borique et le lithium et de l'hydrogène dissous (*cf.* § 4). Ces effluents sont essentiellement produits en phase d'exploitation du fait des mouvements d'eau primaire effectués lors des variations de puissance ou de l'ajustement des paramètres chimiques de l'eau du réacteur…),
- les effluents issus des circuits auxiliaires dits « **effluents usés** » constituent le reste des effluents. Ils résultent principalement des opérations de maintenance nécessitant des vidanges de circuit (filtres, déminéraliseurs, échangeurs…), des opérations d'évacuation du combustible usé et de conditionnement des résines usées, des actions de maintien de la propreté des installations (lavage du sol et du linge).

*Nota : Les **eaux issues des salles des machines** (groupe turbo-alternateur) ne sont pas considérées comme des effluents radioactifs au sens de la réglementation dès lors que leurs activités volumiques n'excèdent pas 4 000 Bq/L en tritium et 4 Bq/L en activité bêta globale (cf. § 3.4).*

Collecte et traitement



Puisard RPE de collecte des purges du circuit primaire : centrale du Bugey

1. Avant 1999, le carbone 14 ne figurait pas dans l'inventaire des substances radioactives à comptabiliser. Depuis 1999, la réglementation demande de le comptabiliser. Cette exigence a été introduite à l'occasion des renouvellements d'autorisation de rejet et de prélèvements d'eau des centrales nucléaires.
2. MWe.an : unité d'énergie correspondant la production électrique d'une centrale de 1 MWe pendant un an. Ainsi, une centrale de 1 000 MWe rejette : 0,200 GBq/MWe.an × 1000 MWe × 1 an = 200 GBq de carbone 14.

Fig. 8 ➜ Collecte, traitement et rejet des effluents radioactifs liquides

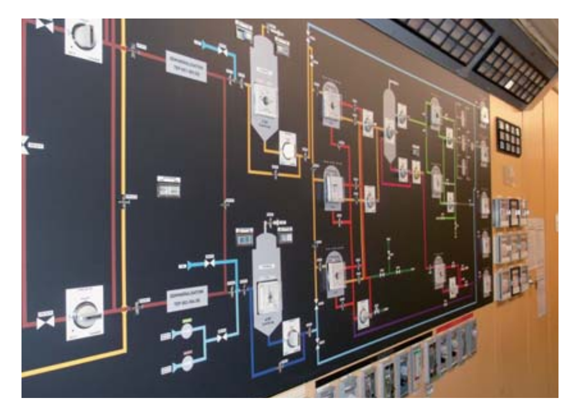
Effluents Primaires Hydrogénés TEP
Ciel d'azote
Stockage de tête TEP
Filtration Déminéralisation Dégazage Evaporation TEP
Vers circuit de collecte des gaz hydrogénés
Recyclage de l'eau vers le circuit primaire
Event
Recyclage de l'acide borique vers le circuit primaire
Effluents aérés usés TEU
Drains résiduaires DR
Drains chimiques DC
Drains de planchers DP
Servitudes
Filtration-Déminéralisation
Évaporation
Filtration
Filtration
Effluents primaires TEP
Effluents usés TEU
Contrôle avant rejet
Réservoir T (KER) ou S (TER)
Contrôle radioactivité
Prédilution dans l'ouvrage de rejet principal
Purges des générateurs de vapeur
Filtre

Les effluents radioactifs sont collectés de façon sélective avant d'être orientés vers les systèmes de traitement appropriés afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité. Ils sont ensuite acheminés vers des réservoirs de stockage où ils subissent un contrôle, tant sur le plan radioactif que sur le plan chimique, avant d'être rejetés (*cf.* fig. 8).

Les effluents primaires hydrogénés

Les effluents issus du circuit primaire sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Primaires (TEP) qui comporte :

- des réservoirs de collecte dits «réservoirs de tête » car situés en amont du traitement. Ces réservoirs sont maintenus sous atmosphère inerte d'azote en raison du dégazage de l'hydrogène contenu dans l'eau primaire. Si le réservoir contenait de l'air, donc de l'oxygène, il existerait un risque d'explosion lié au mélange « hydrogène-oxygène »,
- une chaîne de filtration et de déminéralisation visant à piéger les produits radioactifs, à l'exception du tritium, ainsi que les substances chimiques sauf l'acide borique,
- un dégazeur ayant pour fonction d'extraire les gaz dissous (gaz rares radioactifs, hydrogène, azote) vers le circuit de collecte des effluents radioactifs gazeux,
- une chaîne d'évaporation permettant de séparer l'effluent traité en un distillat (eau) d'activité volumique faible pouvant être rejeté, voire recyclé le cas échéant, et en un concentrat renfermant le bore qui est généralement recyclé vers le circuit primaire.



Salle de commande du Traitement des Effluents Primaires TEP : centrale du Bugey

Les effluents usés

Les effluents liquides usés recueillis dans des puisards situés dans les locaux sont dirigés vers le circuit de Traitement des Effluents Usés (TEU) où ils sont traités.

Collectés sélectivement suivant quatre catégories, le traitement de ces effluents est approprié à leurs caractéristiques physico-chimiques, ainsi :

- les Drains Résiduaires (DR) issus du circuit primaire ou de la piscine de désactivation du combustible usé sont traités par filtration pour retenir les matières en suspension et par déminéralisation

(résines échangeuses d'ions) pour retenir les substances radioactives et chimiques en solution, sauf le tritium et l'acide borique,
- les Drains ou Effluents Chimiques (DC ou EC) passent sur une chaîne d'évaporation. On obtient alors d'une part, un distillat épuré chimiquement et d'activité faible (quelques dizaines de Bq/L à peine en activité bêta globale) et, d'autre part, un concentrat composé principalement d'acide borique jusqu'à des teneurs de 50 000 mg/L en bore et de substances radioactives dont l'activité bêta/gamma peut varier de 5 MBq/L à 15 MBq/L. Pour éviter le risque de cristallisation de l'acide borique dans l'évaporateur, une quantité de soude est ajoutée à l'effluent afin de former du borate de sodium plus soluble que l'acide borique,
- les Drains de Planchers (DP) qui sont filtrés,
- les effluents de servitudes (laverie du linge, douches…) peu radioactifs subissent une filtration avant d'être aiguillés vers les réservoirs (T) de contrôle avant rejet.

Ces traitements permettent en outre de retenir les particules solides, de diamètre supérieur à 5 µm, en suspension dans les effluents avant leur entreposage dans les réservoirs dénommés réglementairement (T) ou (S). Dans ces réservoirs, les effluents sont analysés avant d'être rejetés dans les conditions fixées par la réglementation.

La capacité minimale d'entreposage (T) et (S) est fixée par la réglementation (ex. à Tricastin le volume minimal (T) est fixé à 3 000 m^3 répartis en au moins 6 réservoirs de 500 m^3 ; le volume (S) est de 1 500 m^3 répartis en au moins 3 réservoirs de 500 m^3).

Les réservoirs (S) dits « réservoirs de santé » doivent rester vides ; ils ne peuvent être utilisés en secours des réservoirs (T) qu'après accord préalable de l'ASN.

Contrôle des rejets radioactifs liquides

Tout effluent susceptible d'être radioactif ne peut être rejeté sans avoir été au **préalable** contrôlé dans les conditions fixées par la réglementation.

Rejets radioactifs liquides issus des réservoirs T (KER) ou S (TER)

Avant rejet

Le rejet d'un réservoir T ou S ne peut être réalisé sans que les résultats d'analyse soient connus (tritium, activité bêta globale, activité gamma globale, composition isotopique par spectrométrie gamma). Si l'activité bêta globale excède 20 kBq/L, l'effluent ne peut être rejeté et doit être retraité. Pour le carbone 14 et le nickel 63 dont les analyses sont longues et nécessitent des techniques de mesure complexes, il est admis de ne disposer des résultats qu'*a posteriori*. Ces effluents font aussi l'objet d'analyses chimiques (acide borique, …).

Conditions de rejet

Le débit de rejet doit être calculé pour permettre une pré-dilution minimale réglementaire dans les eaux de refroidissement avant le rejet dans le milieu aquatique.

Pour les sites implantés en bordure de cours d'eau, le rejet radioactif n'est autorisé que si le débit du cours d'eau est compris dans la plage fixée par la réglementation. En dehors de cette plage de débit (cas des étiages ou des crues), les rejets sont interdits. Toutefois, si l'autorisation de rejets le prévoit, le rejet peut être réalisé, à titre exceptionnel, après accord préalable de l'ASN et sous certaines conditions dûment précisées par l'ASN.

Pendant le rejet

Une mesure de radioactivité est effectuée en continu sur la canalisation de rejet au moyen d'une chaîne de mesure γ globale, doublée et secourue électriquement. En cas de dépassement d'un seuil d'alarme (40 kBq/L en activité γ globale), le rejet est stoppé automatiquement. Pendant la durée du rejet, l'opérateur contrôle le débit de rejet et l'évolution du niveau du réservoir. Il ajuste, si nécessaire, le débit de rejet en fonction de celui du cours d'eau afin de respecter les limites de rejet fixées par la réglementation.

En période d'étiage, une coordination des rejets est mises en place entre les centrales situées sur un même bassin hydrographique (Loire-Vienne et Rhône) afin de minimiser les impacts des rejets *(cf. chapitre 8 §5.3)*.

Contrôle du milieu récepteur

Des contrôles (activité tritium et bêta globale) sont effectués à la station de prélèvement située en aval dans une zone de mélange. Les prélèvements des échantillons sont réalisés tous les jours pendant ou en dehors des périodes de rejet, à l'aide d'un hydrocollecteur. Des prélèvements sont aussi réalisés en amont du site en vue d'être éventuellement analysés en cas de problèmes (annexe 7.3).

Pour les sites marins où la notion d'amont et d'aval n'existe pas, les contrôles sont effectués dans les puits ou bassins de rejets ou dans le canal de rejet (Gravelines) ainsi que dans la prise d'eau censée représenter l'amont (annexe 7.4).

Limites de rejet (réservoirs T ou S)

Les contrôles effectués par l'exploitant visent à s'assurer du bon respect des limites fixées par la réglementation (*cf.* chapitre 11 sur le rôle de l'administration).

Les autorisations fixent pour les rejets liquides :
- une **limite annuelle** à ne pas dépasser pour chacune des quatre catégories de radionucléides réglementés (tritium, carbone 14, iodes, autres PF ou PA). Celle-ci s'exprime en multiples de Bq (GBq ou TBq),
- des limites visant à assurer une bonne diffusion des rejets dans le milieu aquatique en définissant :
  - un **débit d'activité** à ne pas dépasser, exprimé en Bq/s,
  - une **activité volumique maximale** en aval des rejets, exprimée en Bq/L.



Cas d'une centrale implantée sur un cours d'eau

L'exemple des limites de rejets d'effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Dampierre est illustré par l'encart ci-après.



Centrale nucléaire de Dampierre sur la Loire (4 × 900 MWe : 180 ha).

Cas d'une centrale implantée en bord de mer

L'exemple des limites de rejets d'effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Penly est illustré par l'encart ci-après.



Centrale nucléaire de Flamanville sur la Manche (2 × 1300 MWe + EPR 1650 MWe: 120 ha).

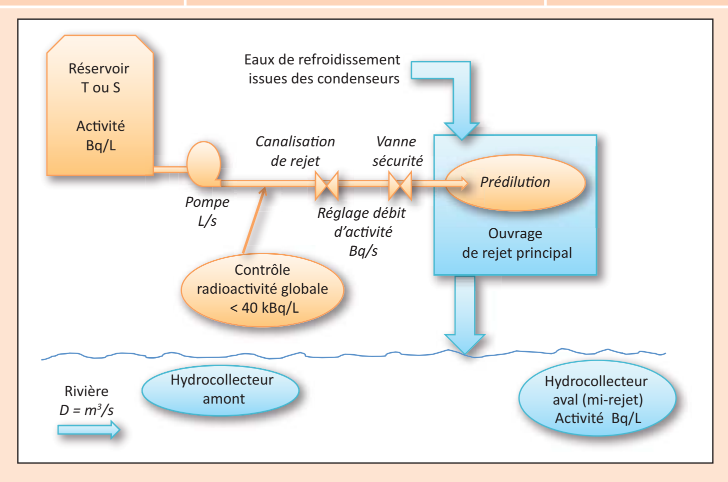
Limites de rejet pour les effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Dampierre sur la Loire (4 unités de 900 MWe)

D'après les décisions ASN n° 2011-DC-0210 et n° 2011-DC-0211 du 3 mars 2011

Catégorie de radionucléides	Limite annuelle Pour 4 réacteurs (GBq)	Limite de débit d'activité au point de rejet (Bq/s)
Tritium	100 000	80 × D*
^{14}C	260	-
Iodes	0,6	0,1 × D*
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma	36	0,7 × D*

** D = Débit de la Loire*

Catégorie de radionucléides	**Limite d'activité** volumique mesurée à hydrocollecteur situé à quelques km en aval du rejet (Bq/L)	
	Limite horaire à mi-rejet	Limite en moyenne journalière
Tritium	280	140 (100 en l'absence de rejets radioactifs)
Émetteurs bêta (hors tritium et potassium 40)	2	-



Limites de rejet pour les effluents radioactifs liquides de la centrale nucléaire de Penly sur la Manche (2 unités de 1300 MWe)

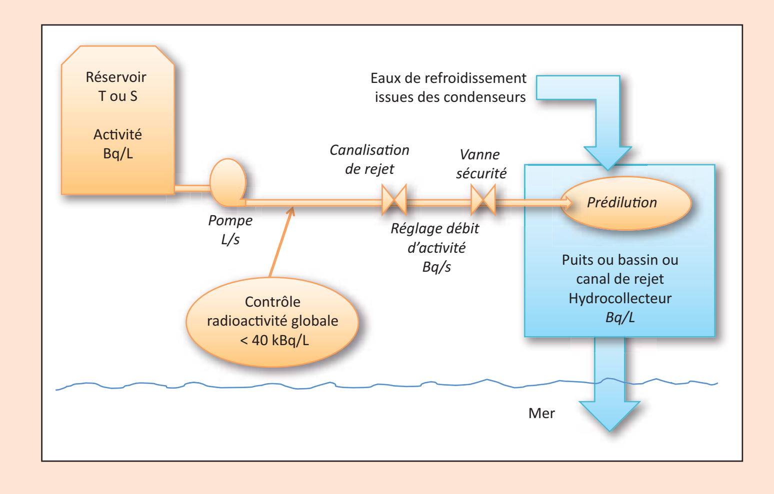
D'après l'arrêté d'autorisation du 15 février 2008 et la décision ASN n° 2008-DC-0090 du 10 janvier 2008

Catégorie de radionucléides	**Limite annuelle** Pour 2 réacteurs (GBq)	Limite de débit d'activité au point de rejet en mer (Bq/s)
Tritium	80 000*	800 x D**
^{14}C	190	-
Iodes	0,1	1 x D**
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta ou gamma	25	7 x D**

** Portée à 100 000 GBq en cas d'utilisation de combustible dit à haut taux de combustion sur les deux réacteurs.*

*** D = débit des eaux de refroidissement*

Catégorie de radionucléides	**Limite d'activité** volumique mesurée à hydrocollecteur situé dans le puits ou bassin de rejet (Bq/L)	
	Limite horaire à mi-rejet	Limite en moyenne journalière
Tritium	1800	900 (100 en l'absence de rejets radioactifs)
Émetteurs bêta hors tritium et potassium 40	18	-



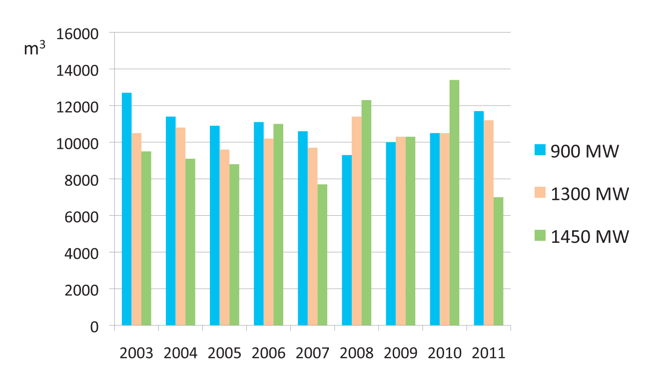
Niveau annuel des rejets d'effluents radioactifs liquides

Les rejets radioactifs liquides effectués par la vidange des réservoirs (T) ou (S) représentent un volume annuel moyen par unité de production de 10 000 m^3 environ (*cf.* fig. 9).

La déclaration des activités rejetées est établie, par catégories de radionucléides, sur la base des mesures réalisées dans le cadre des contrôles réglementaires et des règles de comptabilisation fixées par l'Administration (*cf.* annexe 7.5). Pour les quatre catégories de radionucléides réglementés, le niveau des rejets annuels est le suivant :

- Le **tritium** dans l'eau du circuit primaire provient essentiellement de l'activation du bore 10 et du lithium 6. Par ailleurs, les réacteurs des paliers 1 300 MWe et 1 450 MWe comportent des grappes sources secondaires de neutrons à l'origine d'une production supplémentaire de tritium comprise entre 4 et 12 TBq par an et par réacteur.

Fig. 9 ➜ Volume annuel moyen d'effluents radioactifs rejetés par les réservoirs T ou S, rapporté à un réacteur



Le tritium du circuit primaire se retrouve dans les effluents sous forme d'eau tritiée ; du fait de sa déjà faible concentration, il ne peut pas être éliminé par traitement contrairement à d'autres radionucléides. étant très peu radiotoxique (émetteur bêta de faible énergie), le tritium est rejeté dans l'environnement.

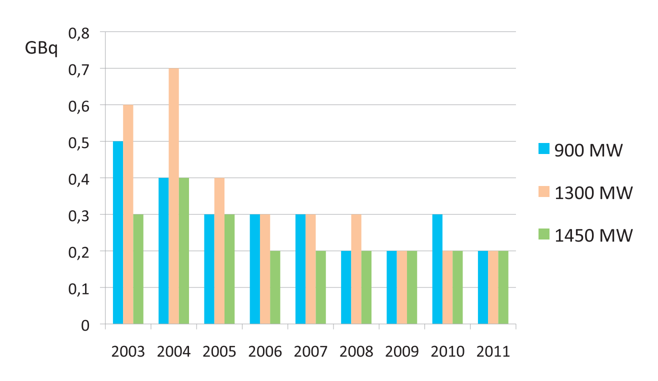
Les rejets sont en moyenne par réacteur d'environ 10 000 GBq (10 TBq) à 30 000 GBq (30 TBq), selon le palier puissance du réacteur, du mode de gestion de combustible et de la présence ou non de grappes sources secondaires de neutrons (*cf.* fig. 10).

Fig. 10 ➜ Rejet annuel moyen de tritium liquide, rapporté à un réacteur



- Les rejets de **carbone 14**[1], présent dans l'effluent sous forme de CO^2 dissous, représentent entre 10 et 20 GBq par réacteur, soit environ 10 % des rejets de carbone 14 par voie atmosphérique.
- Les rejets d'**iodes** (PF) sont très faibles et se situent à environ 0,01 GBq par réacteur. Ceci s'explique pour plusieurs raisons :
  - les iodes formés dans le combustible restent confinés en quasi-totalité au sein du combustible grâce au gainage. En cas d'inétanchéité de ce dernier, les iodes et d'autres produits de fission peuvent migrer dans l'eau primaire. La radioactivité de l'eau du circuit primaire, et particulièrement celles des iodes, est suivie et ne peut dépasser les niveaux fixés par les spécifications radiochimiques. Le circuit primaire est équipé d'un circuit de purification en continu (circuit RCV) qui maintient le niveau de radioactivité de l'eau primaire le plus bas possible,
  - les iodes de l'eau issue du circuit primaire sont piégés efficacement par les systèmes de traitement d'effluents,
  - les iodes 131 et 133 ont des périodes radioactives courtes (respectivement 8 jours et 21 heures) et disparaissent rapidement par décroissance radioactive.
- Les **produits de fission (PF) et d'activation (PA)** sont éliminés en grande partie par les systèmes de traitement. Les rejets d'activité de ces radionucléides par unité de production ont diminué d'un facteur 100 depuis la mise en service du parc nucléaire d'EDF. Les améliorations apportées aux circuits de collecte et de traitement et les efforts réalisés par l'exploitant pour réduire à la source la production d'effluents expliquent ce résultat (*cf.* fig. 11). Les cobalts 58 et 60, l'argent 110m et le nickel 63 sont prépondérants dans ces rejets qui représentent en moyenne moins de 1 GBq par réacteur (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts des rejets).

Fig. 11 ➜ Rejet annuel moyen de produits de fission et d'activation, rapporté à un réacteur



Nota : Les radionucléides retenus par le système de traitement des effluents liquides et gazeux sont évacués vers le centre de stockage de l'ANDRA sous la forme de déchets solides.

3.4 Eaux d'exhaure des salles des machines

Nature et collecte

Les eaux issues du circuit secondaire (non radioactif) et les eaux des puisards des salles des machines contiennent des substances chimiques utilisées pour le conditionnement du circuit secondaire contre la corrosion, à savoir : la morpholine, l'éthanolamine, l'ammoniaque, l'hydrazine notamment (*cf.* §4).

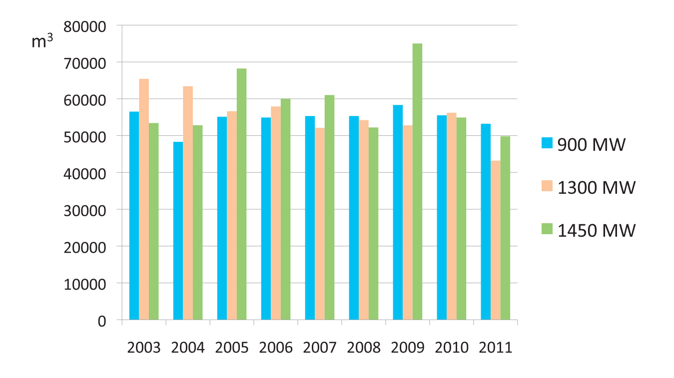
Ces eaux sont collectées sans traitement préalable vers des réservoirs dénommés Ex (appellation réglementaire) où elles sont contrôlées avant d'être rejetées. La capacité minimale d'entreposage Ex est fixée par la réglementation. À titre d'exemple, la capacité est fixée à 2 000 m^3 répartis en au moins deux réservoirs de 1 000 m^3 à la centrale de Tricastin.

1. Avant 1999, le carbone 14 ne figurait pas dans l'inventaire des substances radioactives à comptabiliser. Depuis, la réglementation demande de le comptabiliser. Cette exigence a été introduite à l'occasion des renouvellements d'autorisation de rejet et de prélèvements d'eau.

Les eaux issues des salles des machines ne sont pas classées dans les effluents radioactifs. Elles peuvent toutefois présenter des traces de radioactivité lorsque les tubes des générateurs de vapeur (qui constituent la deuxième barrière entre l'eau radioactive du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire) ne sont pas parfaitement étanches. Dans ce cas, des radionucléides, comme le tritium, peuvent migrer du circuit primaire vers le circuit secondaire et contaminer les eaux d'exhaure qui ne pourront pas être rejetées et devront être traitées comme un effluent radioactif. Le volume annuel moyen d'eau d'exhaure rejeté est d'environ 55 000 m^3 pour une unité de production (*cf.* fig. 12).

Réservoirs Ex et leurs cuvelages de rétention : centrale du Bugey

Fig. 12 → Volume annuel moyen d'eaux d'exhaure rejeté par les réservoirs Ex, rapporté à une unité de production



Limites relatives à la radioactivité des eaux issues des salles des machines (Ex)

Les valeurs de radioactivité, au-delà desquelles les eaux d'exhaure des salles des machines sont considérées comme des effluents radioactifs, sont indiquées dans les autorisations de rejet (*cf.* tab. I).

Si l'activité en tritium est comprise entre 400 Bq/L et 4 000 Bq/L, le rejet tritium par cette voie doit être pris en compte dans le calcul du débit d'activité (Bq/s) exigé pour les rejets radioactifs liquides. Au-dessus de 4 000 Bq/L en tritium ou 4 Bq/L en activité bêta globale, ces eaux sont rejetées dans les mêmes conditions qu'un effluent radioactif.

3.5 Rejets gazeux diffus

Les rejets radioactifs diffus ont notamment pour origine :

- les évents de réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (T, S), le réservoir de stockage de l'eau borée pour le remplissage des piscines,
- les rejets de vapeur du circuit secondaire par le système de décharge à l'atmosphère, susceptibles de renfermer de la radioactivité en cas d'inétanchéité des tubes de générateurs de vapeur.

Ces rejets, ne transitant pas par la cheminée instrumentée, font l'objet d'une estimation mensuelle par calcul visant notamment à s'assurer de leur caractère négligeable. Les résultats de ces estimations, qui portent en particulier sur les volumes et activités rejetés (tritium, iodes…), sont mentionnés dans les registres réglementaires communiqués mensuellement à l'administration.



Réservoirs T et S d'entreposage des effluents avant rejet et leurs cuvelages de rétention : centrale du Bugey.

Tab. I Exemple de limites d'activité volumique des eaux d'exhaure des salles des machines.

Catégorie de radionucléides	Limite d'activité volumique dans le réservoir Bq/L
Tritium	4 000
Activité bêta globale (hors tritium et potassium 40)	4

4. Domaine chimique

4.1 Origine des substances chimiques rejetées

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire nécessite l'utilisation de substances chimiques et donne lieu à des rejets chimiques par voie liquide dans l'environnement et, dans une moindre mesure, à des rejets gazeux non radioactifs.

Chaque substance chimique assure une fonction bien précise tant en phase d'exploitation (contrôle de la réaction nucléaire, protection des circuits contre la corrosion, lutte contre le tartre et le développement de micro-organismes, production d'eau déminéralisée…), que lors des opérations de maintenance (lessivage chimique, détartrage…).

La présence d'impuretés dans les produits chimiques commerciaux et l'usure des tubes en laiton des condenseurs (pour les centrales qui en sont équipées) conduisent à des rejets de métaux.

Substances utilisées pour l'exploitation

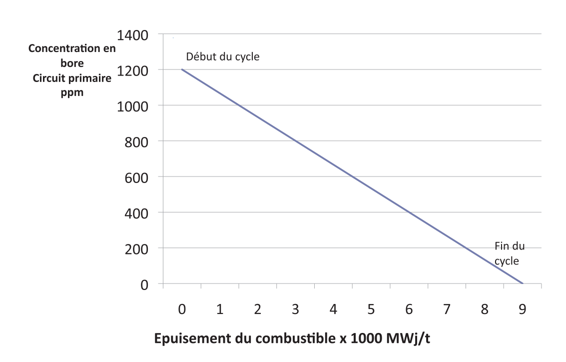
Contrôle de la réaction nucléaire

L'acide borique (H_3BO_3), en solution dans l'eau du circuit primaire, participe, avec les grappes de commande, au contrôle de la réaction nucléaire. Seul le bore 10, isotope présent à hauteur de 20 % environ dans le bore naturel, permet d'absorber les neutrons en formant du tritium (radioactif) ou du lithium 7 (stable). C'est un acide faible qui se retrouve dans les effluents radioactifs lorsqu'il est déchargé du circuit primaire. La concentration en bore dans l'eau du circuit primaire varie au cours du cycle de fonctionnement du réacteur[1]. La teneur en bore en début de cycle est déterminée en fonction de paramètres neutroniques et de la longueur de cycle souhaitée. Sa concentration est ensuite progressivement abaissée, au cours du cycle, pour compenser l'épuisement du combustible ; elle évolue, à titre d'exemple, de 1 200 mg/kg (ppm) en début de cycle à presque 0 mg/kg (ppm) en fin de cycle (*cf.* fig.13).

Conditionnement chimique du circuit primaire

La lithine (LiOH) est utilisée en faible quantité (quelques dizaines de kilos par an et par réacteur) pour assurer un pH de moindre corrosion des structures métalliques du circuit primaire. La lithine est enrichie en lithium 7 (> 99,9 %) pour éviter la formation de tritium par activation du lithium 6 présent dans le lithium naturel.

Fig. 13 ➜ Évolution de la concentration en bore en fonction de l'épuisement du combustible



L'hydrazine (N_2H_4) est injectée, sous forme d'hydrate d'hydrazine (N_2H_4OH), pendant la phase de démarrage du réacteur (palier chimique) afin d'éliminer toute trace d'oxygène dissous dans l'eau du circuit primaire.

Conditionnement du circuit secondaire (eau-vapeur) en fonctionnement

Le conditionnement du circuit secondaire vise à éviter la corrosion des matériels par l'utilisation de substances chimiques choisies pour leur efficacité mais aussi pour leur moindre impact sur la santé et l'environnement.

L'hydrazine (N_2H_4) est une base faible utilisée en fonctionnement et, en arrêt de tranche, pour la conservation en eau des matériels. Elle permet de minimiser la corrosion des matériaux en réagissant avec l'oxygène dissous dans l'eau. Injectée sous forme d'hydrate d'hydrazine ($N_2H_4.H_20$), l'hydrazine se décompose en ammoniaque (NH_4OH) qui joue un rôle sur le pH de l'eau du circuit secondaire. L'hydrazine agit donc tant sur l'oxygène dissous que sur le pH de l'eau du circuit.

La **morpholine** (C_4H_9NO), **l'éthanolamine** (C_2H_7NO) et l'**ammoniaque** (NH_4OH) sont des amines volatiles qui peuvent être employées, seules ou en combinaison, pour maintenir le bon pH dans le circuit secondaire. Elles complètent l'action de l'hydrazine. Le conditionnement du circuit secondaire fait l'objet de spécifications chimiques. Celles-ci sont établies en tenant compte notamment de la nature des matériaux à protéger contre la corrosion (acier noir, acier inoxydable, alliage cuivreux) mais aussi des questions d'environnement, car ces substances et leurs dérivés se retrouvent en partie dans les rejets. Le mode de conditionnement du circuit secondaire a évolué avec les années pour tenir compte du

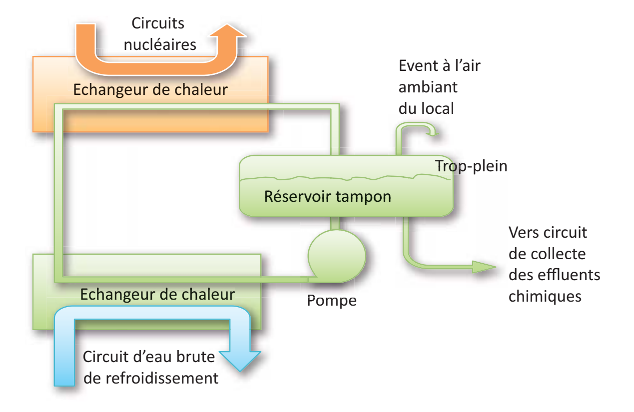
1. Cycle de fonctionnement : un réacteur à eau sous pression doit être rechargé en combustible périodiquement. La durée de fonctionnement du réacteur entre deux rechargements de combustible est appelée « cycle de fonctionnement » ; il peut varier de 12 mois à 18 mois.

retour d'expérience interne et étranger (*cf.* encart). L'**éthanolamine** (C_2H_7NO), utilisée sur quelques centrales (Flamanville, Penly, Nogent), constitue une alternative intéressante à la morpholine, en particulier pour la protection des pièces internes des générateurs de vapeur et des purges des sécheurs-surchauffeurs de la turbine.

Conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires

Le **phosphate trisodique** (Na_3PO_4) est utilisé pour le conditionnement des circuits de refroidissement intermédiaires (circuits RRI, SRI, TRI). Ces circuits sont dits « intermédiaires » car ils assurent l'échange de chaleur entre un circuit radioactif (circuit primaire par exemple) et un circuit d'eau brute ouvert sur l'environnement. En cas d'inétanchéité des échangeurs, ce circuit intermédiaire peut être contaminé en particulier par le tritium. Lorsque l'activité du circuit dépasse la limite des spécifications radiochimiques, une intervention pour réparation doit être entreprise. L'eau du circuit peut également être le siège d'une carbonatation du fait de la présence de gaz carbonique dans l'air du réservoir tampon. Dans les deux cas, une vidange du circuit est nécessaire, ce qui produit des effluents phosphatés (*cf.* fig.14).

Fig. 14 ➜ Schéma de principe d'un circuit intermédiaire conditionné au phosphate



Lavage du linge contaminé (laverie)

Le lavage du linge utilisé par le personnel intervenant en zone contrôlée fait appel à des lessives commerciales. Les fabricants de lessive sont tenus, par le cahier des charges, de fournir des lessives biodégradables, exemptes de phosphates et de produits chélatants tels que l'EDTA (acide Ethylène-Diamine-TétraAcétique) et le NTA (acide NitriloTriAcétique). Les effluents issus du lavage du linge sont filtrés ce qui permet de retenir la radioactivité mais pas les détergents. Ces effluents ainsi traités sont ensuite aiguillés vers les réservoirs T de contrôle avant rejet. Les quantités de détergents rejetés varient en fonction du volume de linge lavé. Elles peuvent atteindre en pointe environ 250 kg par jour ramenés à une unité de production.

Évolution du mode de conditionnement du circuit secondaire

Jusqu'au milieu des années 1980, pour prévenir les risques de corrosion, l'eau du circuit secondaire des centrales nucléaires REP d'EDF était conditionnée à l'ammoniaque. Cette substance avait été retenue pour différentes raisons (mise en œuvre facile, produit courant bénéficiant d'un bon retour d'expérience, absence de formation de produits de décomposition, faible coût). Pour éviter la corrosion ammoniacale des matériels renfermant du cuivre (tubes en laiton des condenseurs et des réchauffeurs basse pression), le pH dans l'eau alimentaire des unités concernées était volontairement limité à 9,2 à 25 °C (mode « bas pH »).

À partir des années 1983-1984, l'ammoniaque a été remplacée par la morpholine sur les unités « à alliages cuivreux » pour traiter plus efficacement le phénomène de corrosion-érosion rencontré sur les structures en acier au carbone. Sur les autres unités, sans cuivre, le pH a été remonté entre 9,6 et 9,8 (mode « haut pH ») pour mieux maîtriser la corrosion généralisée, notamment celle des aciers au carbone, et réduire la quantité de produits de corrosion véhiculés dans les circuits (générateurs de vapeur…). Ammoniaque ou morpholine pouvait être utilisée indifféremment avec toutefois une préférence pour la morpholine, plus efficace pour diminuer les produits de corrosion véhiculés dans les circuits.

En 2010, sur les 58 unités en exploitation, 50 utilisent la morpholine, les autres l'ammoniaque. Il convient aussi de noter que certaines tranches fonctionnant à haut pH à la morpholine utilisent, en complément, de l'ammoniaque (cas de Gravelines).

Dans le cadre des études d'EDF destinées à mieux appréhender les phénomènes de corrosion-érosion, des essais de conditionnement à l'éthanolamine (ETA) ont été effectués à la centrale de St-Alban équipée de matériels cuivreux. Ces essais ont confirmé l'efficacité de l'ETA pour lutter contre le phénomène de corrosion-érosion susceptible de se manifester dans certaines parties bien localisées des circuits (internes des générateurs de vapeur, purges des générateurs de vapeur et des sécheurs-surchauffeurs). Des tests effectués à l'étranger et la théorie ont montré que cet intérêt est également valable pour les installations « sans cuivre ». L'ETA est largement utilisé aux états-Unis (50 % des centrales nucléaires), sur les deux unités de la centrale de Koeberg en Afrique du Sud.

Depuis 2011, l'éthanolamine est utilisée sur les unités de Flamanville, de Penly et Nogent puis est généralisée à l'ensemble des centrales du parc nucléaire.

Traitement contre le tartre des circuits fermés de refroidissement des condenseurs

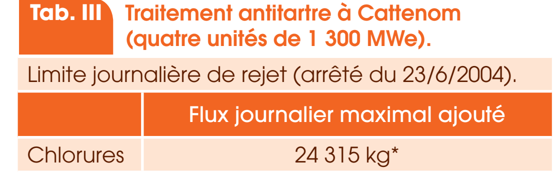
L'acide sulfurique (H_2SO_4) est utilisé pour prévenir la formation du tartre. La réaction chimique avec les bicarbonates présents dans l'eau de refroidissement forme des sulfates plus solubles qui se retrouvent dans la purge du circuit et donc dans l'ouvrage de rejet principal.

Lorsque le traitement à l'acide est complété par des **antitartres organiques** (cas de Nogent par ex.), cette substance organique se retrouve en partie dans l'ouvrage de rejet. L'injection de ces substances est ajustée en fonction de la qualité d'eau à traiter et des contraintes fixées sur les rejets (*cf.* tab. II).

Tab. II Traitement antitartre à Nogent (deux unités de 1 300 MWe).

Limites journalières de rejet (arrêté du 29 décembre 2004).	
	Flux journalier maximal ajouté
Sulfates	53 100 kg
Polyacrylates	872 kg au maximum 30 jours par an
	436 kg le reste de l'année

À Cattenom, l'emploi **d'acide chlorhydrique** (HCl)[1] à la place d'acide sulfurique est à l'origine de rejet de chlorures (*cf.* tab. III).



Tab. III Traitement antitartre à Cattenom (quatre unités de 1 300 MWe).

Limite journalière de rejet (arrêté du 23/6/2004).	
	Flux journalier maximal ajouté
Chlorures	24 315 kg*

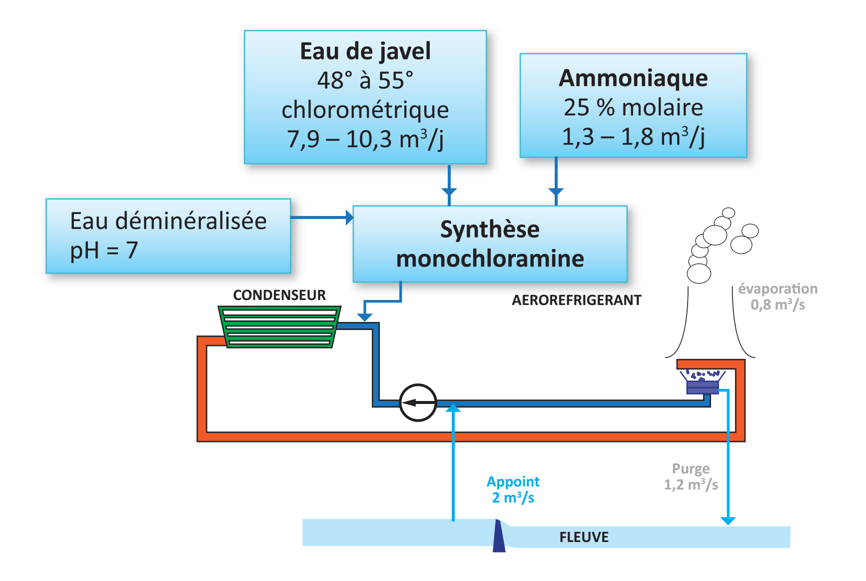
*Valeur pouvant être portée à 27 000 kg 15 jours par an.

Traitement biocide des circuits fermés de refroidissement des condenseurs

La monochloramine utilisée pour le traitement biocide est produite *in situ* en mélangeant de l'eau de Javel (NaClO) à de l'ammoniaque (NH_4OH). Celle-ci est directement injectée dans le circuit d'eau de refroidissement. Elle réagit, au cours du traitement, pour former différentes substances chimiques qui se retrouvent dans les purges de l'aéroréfrigérant et donc dans l'ouvrage de rejet principal (*cf.* fig. 15). Il s'agit principalement de chlore combiné, de produits azotés (ammoniaque, nitrates, nitrites), de substances organiques chlorées (AOX) de chlorures et de sodium issus de l'eau de Javel. La concentration en chlore combiné résiduel à la sortie du condenseur est d'environ 0,25 mg/L éq. Cl_2.

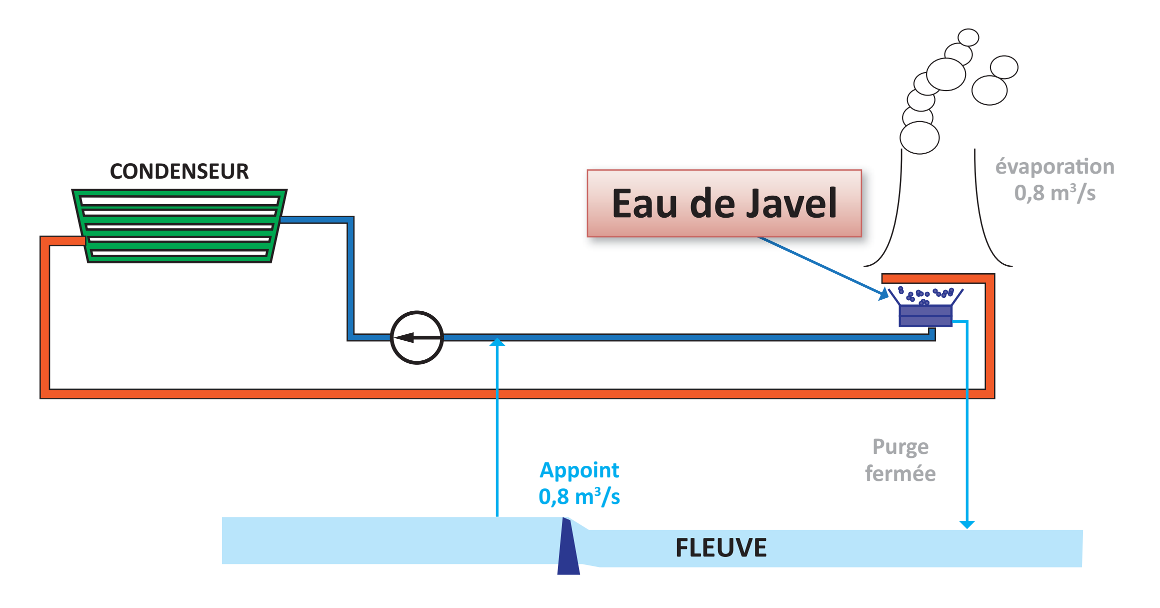
Le traitement biocide par chloration massive à pH contrôlé est déclenché en cas de développement d'algues filamenteuses ou en secours du traitement à la monochloramine ou, en l'absence de traitement à la monochloramine, en cas de prolifération de micro-organismes pathogènes (*cf.* chapitre 6 sur les prélèvements d'eau et la source froide). Il fait appel à de l'eau de Javel injectée en une fois, à forte teneur (50 mg/L), pour provoquer un choc chloré. Cette opération est pratiquée après avoir fermé les purges de l'aéroréfrigérant afin d'éviter le rejet massif de chlore libre. Pendant l'opération qui dure plusieurs heures, l'eau de Javel réagit avec la matière organique du circuit et se transforme en chlore combiné, en AOX (composés organohalogénés) et en THM (composés organohalogénés volatils dont principalement le chloroforme). Ces substances sont rejetées à l'ouverture de la purge dans l'ouvrage de rejet principal (*cf.* fig. 16 et tab. IV). La purge n'est ouverte que lorsque la concentration en chlore libre dans le bassin de l'aéroréfrigérant est inférieure à 0,1 mg/L éq. Cl_2.

Fig. 15 → Traitement à la monochloramine.



1. À Cattenom, l'acide chlorhydrique pourrait être remplacé à terme par l'acide sulfurique en raison des contraintes réglementaires sur les rejets de chlorures.

Fig. 16 ➜ Chloration massive à pH contrôlé



Tab. IV Traitement biocide à la centrale de St-Laurent sur la Loire (deux unités de 900 MWe).
Limites journalières de rejet (d'après la décision ASN n° 2010-DC-2010 n° 0182 du 18 mai 2010).

Substances	Chloration massive Flux 24 h ajouté	Traitement à la Monochloramine tranches 1 et 2 Flux 24 h ajouté
Ammonium	-	70 kg
Nitrates	-	1 470 kg 1 840 kg en cas de traitement renforcé
Nitrites	-	70 kg *(10 % des valeurs peuvent dépasser 70 kg sans toutefois dépasser 230 kg)*
CRT	100 kg	45 kg 65 kg en cas de traitement † renforcé
AOX . Cl_2	85 kg	15 kg *(20 kg en cas de traitement* renforcé)*
THM (chloroforme)	9,6 kg	-

** Ces traitements s'accompagnent de rejets de sulfates et de sodium réglementés avec les rejets provenant d'autres circuits (station de déminéralisation, réservoirs T, S et Ex.*

Traitement biocide des circuits ouverts de refroidissement des sites marins

Pour lutter contre les salissures biologiques, l'eau de mer alimentant les circuits de refroidissement des sites marins est traitée, du printemps à l'automne, à l'eau de Javel (hypochlorite de sodium) produite *in situ* par électrolyse de l'eau de mer. Ce traitement conduit à des rejets de composés organohalogénés dont le principal est le bromoforme (environ 100 kg par jour pour une unité de production).

Production d'eau déminéralisée à partir d'eau douce brute

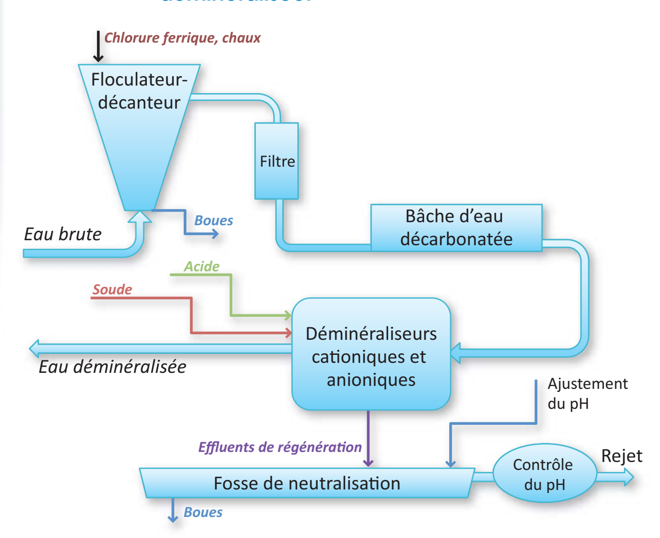
Les stations de production d'eau déminéralisée se composent (*cf.* fig. 17) :

- d'une unité de prétraitement qui peut être, selon les besoins, de différents types :
  - décarbonatation et floculation,
  - clarification et décantation ou flottation,
  - simple filtration sur filtre à sable.
- d'une unité de déminéralisation composée, selon les besoins :
  - d'un déchloreur,
  - de déminéraliseurs (résines échangeuses d'ions pour les cations et résines échangeuses d'ions pour les anions),
  - dans certains cas, des déminéraliseurs à lits mélangés (résines anions/cations).

Le fonctionnement d'une station de production d'eau déminéralisée produit :

- des boues provenant de l'unité de prétraitement,
- des effluents chimiques issus du lavage du déchloreur et de la régénération des résines échangeuses d'ions au moyen d'acide sulfurique ou chlorhydrique (résines cationiques) et de soude (résines anioniques).

Fig. 17 ➜ Station de production d'eau déminéralisée.



Les effluents de régénération sont composés essentiellement de chlorures ou de sulfates, de sodium et de métaux ; ils sont aiguillés vers la fosse de neutralisation pour y être analysés et, le cas échéant, neutralisés, avant rejet (*cf.* tab. V).

Tab. V Station de déminéralisation à Penly (deux unités de 1300 MWe)

Limites journalières de rejet (arrêté du 15/02/2008).	
Substances	Flux 24 h ajouté
Sodium	830 kg
Chlorures	1 100 kg
Fer	56 kg
Matières en suspension	1 800 kg

Les boues de décantation et de nettoyage des fosses de neutralisation sont selon leur composition, soit utilisées comme amendement agricole, traitées comme des déchets, soit rejetées en mer dans le cas des centrales littorales.

Production d'eau déminéralisée par dessalement de l'eau de mer à Flamanville

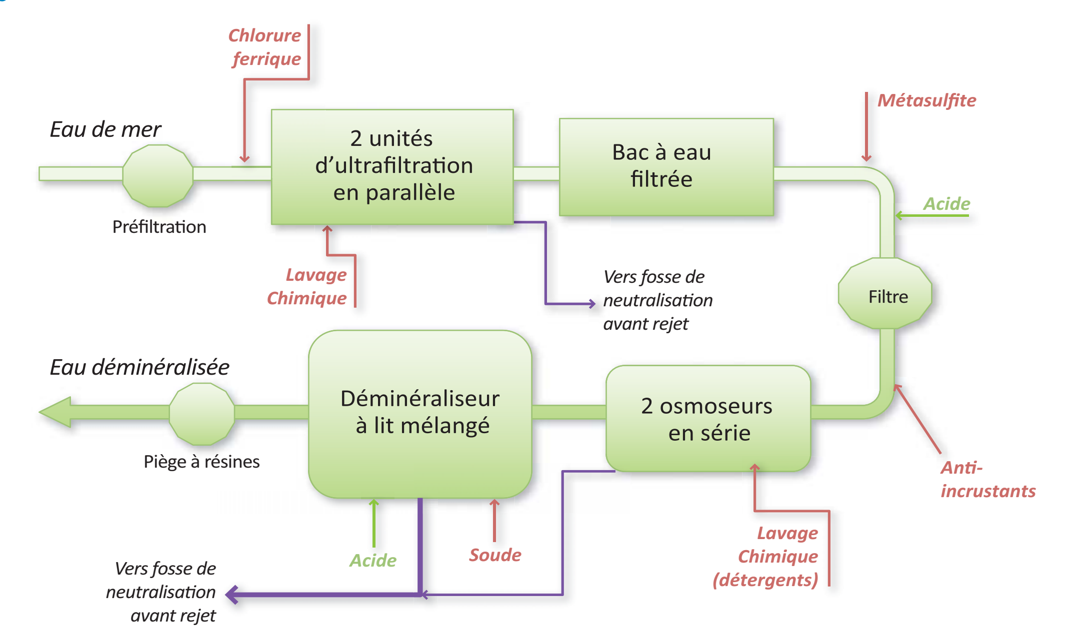
L'eau prélevée en mer subit :

- une préfiltration afin d'éviter le colmatage des matériels situés en aval,
- une filtration accompagnée d'une coagulation par injection de **chlorure ferrique** ($FeCl_3$),
- une ultrafiltration assurée par deux unités en parallèle dont le nettoyage est réalisé automatiquement au moyen d'**eau de Javel** ($NaClO$), **de soude** ($NaOH$) et **d'acide sulfurique** (H_2SO_4),
- un traitement par osmose inverse permettant d'obtenir d'une part, de l'eau douce et, d'autre part, un concentrat de sels (saumure) qui est rejeté ; ce traitement est accompagné :
  - d'une injection de métabisulfite de sodium ($Na_2S_2O_5$) afin d'éliminer le chlore et l'oxygène présents dans l'eau de mer à traiter,
  - d'une acidification à l'acide chlorhydrique ou à l'acide sulfurique pour éviter l'entartrage dû à la précipitation de sels de calcium,
  - d'un ajout de produits anti-incrustants pour empêcher la précipitation de composés tels que le carbonate de calcium et le sulfate de calcium.

Les membranes d'osmose se colmatent lentement sous l'effet des colloïdes et de la précipitation des sels. Pour restaurer la propreté des membranes, un nettoyage chimique est réalisé au moyen de **détergents.**

L'eau douce sortant des osmoseurs subit une déminéralisation finale (polishing) sur un lit mélangé de résines échangeuses d'ions. Les résines sont périodiquement régénérées par de la soude et de l'acide sulfurique et les effluents produits sont orientés vers la fosse de neutralisation pour contrôle avant rejet (*cf.* fig. 18 et tab. VI).

Fig. 18 ➜ Station de dessalement d'eau de mer à Flamanville



Tab. VI Unité de dessalement de l'eau de mer à Flamanville (2 000 m^3/j)

Quantité de produits utilisés quotidiennement (ordres de grandeur).

Substances rejetées par l'unité	Quantités journalières
Chlorure ferrique	10 kg
Métabisulfite de sodium	30 kg
Acide chlorhydrique ou sulfurique	30 kg
Anti-incrustant	5 kg

Substances utilisées pour les opérations de maintenance

Conditionnement des générateurs de vapeur en phase d'arrêt de tranche

Lorsque l'unité de production est mise à l'arrêt pour procéder au chargement du combustible nucléaire, les générateurs de vapeur (côté secondaire) sont maintenus sous eau. Pour assurer la conservation de ces matériels (éviter leur endommagement) pendant toute la durée de l'arrêt (plusieurs semaines), l'eau est conditionnée au moyen d'un mélange d'**hydrazine** et d'**ammoniaque** ou d'hydrazine et de **morpholine**. L'éthanolamine peut aussi être utilisée en lieu et place de la morpholine. En fin d'arrêt, deux cas de figure peuvent se présenter :

- soit les générateurs de vapeur sont exceptionnelement vidangés en l'état ; l'eau de vidange contenant encore une forte teneur d'hydrazine (jusqu'à 100 mg/L) conduit à des rejets chimiques,
- soit l'eau des générateurs de vapeur est conservée pour la phase de démarrage, ce qui évite les rejets.

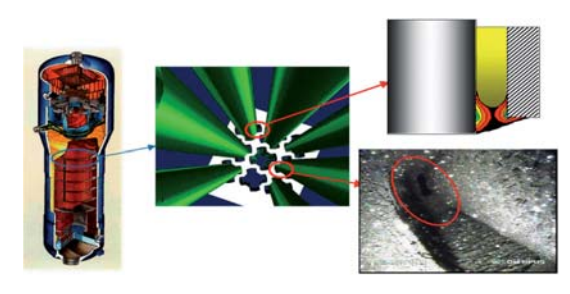
Les autres parties du circuit secondaire (poste d'eau, condenseurs) sont vidangées en début d'arrêt et maintenus sous air chaud. Cette vidange de circuit en début d'arrêt de tranche produit environ 2 000 m^3 d'eau contenant de faibles concentrations d'hydrazine (1 mg/L), d'ammoniaque (5 mg/L) et de morpholine (5 mg/L) correspondant aux concentrations du circuit secondaire.

Lessivage chimique des générateurs de vapeur à l'arrêt

Le colmatage par des produits de corrosion du circuit secondaire a été constaté sur les générateurs de vapeur de certaines centrales. Comme ce phénomène peut affecter la tenue mécanique des tubes et qu'il entraîne une perte sensible du rendement thermique des générateurs de vapeur, un lessivage chimique de ces matériels est nécessaire (*cf.* fig. 19).

Cette opération de lessivage met en œuvre des substances chimiques (hydrazine, morpholine, …) qui vont dissoudre les oxydes métalliques (fer, cuivre, zinc) qui se sont déposés au fil du temps

Fig. 19 ➜ Dépôts sur les plaques entretoises des générateurs de vapeur.



sur les plaques entretoises des générateurs de vapeur. Les effluents produits (800 m^3 environ) ne sont pas rejetés mais traités comme déchets par incinération. Seules les eaux de rinçage (500 m^3 environ), susceptibles d'être légèrement radioactives et renfermant des résidus (hydrazine, morpholine, oxydes de fer, de cuivre et de zinc…), sont recueillies dans un réservoir T pour y être contrôlées avant rejet.

Lessivage chimique des circuits fermés de refroidissement à l'arrêt.

Cette opération est réalisée avec de l'acide sulfurique lorsque la centrale est à l'arrêt, le circuit de refroidissement étant isolé du reste des installations. L'acide sulfurique utilisé pour dissoudre le tartre, présent sur les parois des tubes de condenseurs et sur les *packings* des aéroréfrigérants, forme des sulfates qui ne sont pas rejetés mais envoyés chez un éliminateur agréé. Le volume d'effluents produits dépend de l'importance de l'opération.

Nettoyage des échangeurs d'eau brute des circuits de réfrigération intermédiaires (circuits RRI, SRI, TRI)

L'encrassement des échangeurs alimentés en eau brute (eau douce ou eau de mer) est inéluctable dans le temps et dégrade leurs performances thermiques. La nature des dépôts peut être d'origine organique (algues, boues) ou minérale (tartre, argile). Dans certains cas, ces dépôts peuvent contenir des traces d'hydrocarbures dues aux activités portuaires (cas de Gravelines). Le nettoyage peut être réalisé mécaniquement en démontant l'échangeur ou chimiquement. Les dépôts et les effluents produits sont, soit récupérés et traités comme déchets, soit rejetés après neutralisation dans les fosses de station de déminéralisation.

Substances issues de l'usure des matériels ou d'impuretés des produits utilisés

Usures des tubes en laiton des condenseurs

Les parois internes des tubes en laiton[1] des condenseurs s'usent sous l'effet de l'érosion-corrosion provoquée par l'eau brute de refroidissement. La perte de matière se traduit par une diminution de l'épaisseur des tubes et conduit à des rejets de cuivre et de zinc.

1. Laiton : alliage composé de cuivre (70 %) et de zinc (30 %) ; on note aussi la présence d'arsenic à des teneurs de 2 à 3 %.

Seules quelques centrales refroidies en circuit fermé sont encore équipées de condenseurs dont les tubes sont totalement ou partiellement en laiton (*cf.* encart). Depuis 2011, plus aucune centrale refroidie en circuit ouvert ne possède de condenseurs en laiton.

Pour les centrales en circuit fermé, les rejets journaliers par unité peuvent varier de 10 à 70 kg pour le cuivre et de 5 à 35 kg pour le zinc. L'usure dépend beaucoup de la qualité de l'eau brute qui peut être plus ou moins abrasive et corrosive selon les cours d'eau. Notons par ailleurs que la présence de cuivre soluble dans l'eau de refroidissement a un effet biocide vis-à-vis des amibes et évite leur développement dans les circuits (*cf.* chapitre 6 sur les prélèvements d'eau).

L'épaisseur des tubes de condenseurs est contrôlée périodiquement par des mesures de courants de Foucault. Ces contrôles montrent que les tubes en acier inoxydable et en titane ne présentent pas d'usure significative. Ces condenseurs ne donnent donc pas lieu à des rejets de métaux.

Impuretés des produits commerciaux utilisés pour le conditionnement et le traitement

Certains produits chimiques commerciaux utilisés pour le traitement des circuits (acide sulfurique, soude caustique, acide chlorhydrique) renferment des impuretés tels que le plomb et le mercure. Pour réduire au maximum le rejet de ces substances très toxiques, l'exploitant impose dans le cahier des charges transmis aux fournisseurs, les spécifications prévues par la réglementation (< 1 mg/kg).

Substances chimiques exogènes

Les substances chimiques présentes dans l'eau prélevée en amont de la centrale et qui ne font que transiter par les circuits de refroidissement (sels dissous, métaux lourds…) se retrouvent aussi dans l'ouvrage de rejet principal. Les circuits fermés refroidis par aéroréfrigérants tendent à concentrer ces substances au rejet du fait de l'évaporation de l'eau (facteur de concentration de 1,5 environ). Ce phénomène de surconcentration est pris en compte dans les études d'impact (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts).

4.2 Collecte et traitement des effluents chimiques liquides

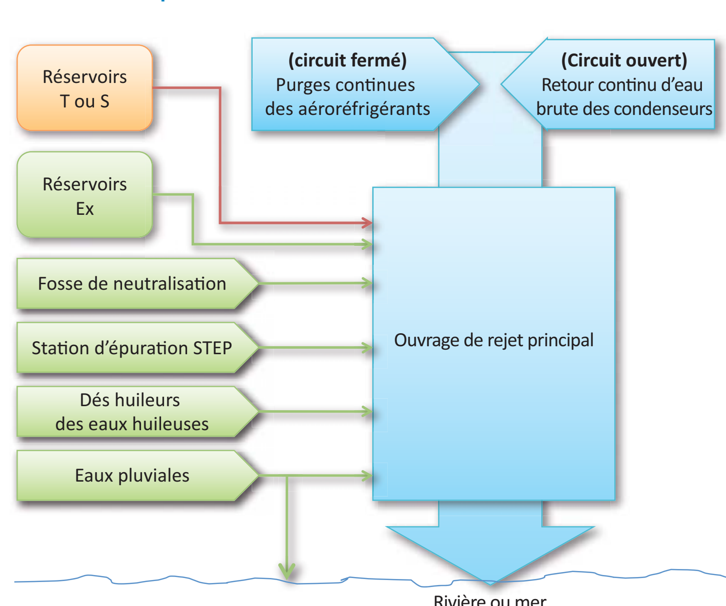
Collecte vers l'ouvrage de rejet principal

À l'exception des eaux de pluie collectées par certains émissaires, tous les effluents, qu'ils soient radioactifs ou non, sont orientés vers un ouvrage de rejet unique qui constitue le **rejet principal du site**. Cet ouvrage collecte les retours d'eau brute (eau douce ou eau de mer) des circuits de refroidissement (condenseurs des turbo-alternateurs, purges des tours aéroréfrigérantes, échangeurs) dans lesquels les effluents sont prédilués. À cette fin, un débit minimal d'eau brute est assuré en permanence dans cet ouvrage de rejet (fig. 20).

Par l'ouvrage de rejet principal, sont rejetées les substances chimiques en provenance :

- des vidanges des **réservoirs T** (capacité unitaire 500 à 750 m^3) collectant les effluents radioactifs (10 à 15 vidanges par an et par réacteur). Ces réservoirs contiennent, en plus des substances radioactives, des substances chimiques telles que :
  - acide borique, lithine, hydrate d'hydrazine, phosphates, détergents provenant du lavage du linge contaminé ou des douches,
  - les produits de conditionnement du circuit secondaire (morpholine, hydrazine, ammoniaque, le cas échéant de l'éthanolamine et leurs dérivés

Fig. 20 ➜ Collecte des effluents liquides



azotés tels que nitrates et nitrites) si les réservoirs ont collecté les purges des générateurs de vapeur,
  - les matières en suspension (boues) voire quelques métaux à l'état de trace dus à l'usure des circuits,
- des vidanges des **réservoirs Ex**, (capacité unitaire 300 à 1000 m^3) collectant les eaux d'exhaure des salles des machines (50 à 100 vidanges par an et par réacteur). Ces réservoirs renferment essentiellement :
  - les produits de conditionnement du circuit secondaire et du circuit de production de vapeur auxiliaire (morpholine, hydrazine, ammoniaque, le cas échéant de l'éthanolamine, et leurs dérivés azotés tels que nitrates et nitrites),
  - les matières en suspension (issues de la récupération des eaux brutes de désurchauffe des fonds « basse-pression » des turbines) voire quelques métaux à l'état de trace dus à l'usure des circuits,
  - les phosphates issus des vidanges des circuits de refroidissement intermédiaire.
- des **purges continues** des aéroréfrigérants, qui contiennent les substances chimiques liées aux traitements antitartre et biocide lorsqu'ils sont pratiqués, et à l'usure des tubes de condenseurs si ces derniers sont en laiton,
- des **retours d'eau brute** des condenseurs refroidis en circuit ouvert qui peuvent être chargés de substances liées au traitement antisalissure sur les sites marins,
- des vidanges des **fosses de neutralisation** (200 à 500 m^3) de la station de déminéralisation (5 à 6 par mois) comportant notamment les sels issus de régénération des résines échangeuses d'ions (sulfates ou chlorures),
- des sorties des **stations d'épuration des eaux usées STEP** (eaux vannes),
- des sorties des **déshuileurs** installés pour la collecte des eaux susceptibles d'être polluées par de l'huile ou des hydrocarbures,
- des **eaux de pluie** collectées par les toitures des bâtiments et les voiries.

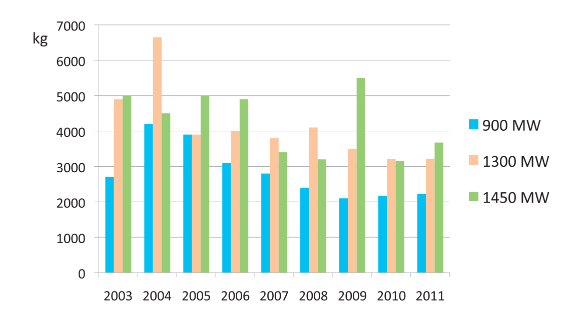
Traitement des effluents chimiques

Des actions sont mises en œuvre au quotidien par l'exploitant pour réduire autant que possible les rejets de substances chimiques. Celles-ci visent en premier lieu à réduire la production d'effluents à la source en limitant notamment les fuites d'eau sur les circuits puis en agissant sur le traitement des effluents avant rejet (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts).

Réduction des rejets d'acide borique

Les effluents radioactifs borés issus du circuit primaire peuvent être, après traitement, recyclés, c'est-à-dire réutilisés comme eau d'appoint au circuit primaire. Mais le recyclage se heurte à des difficultés en raison de la teneur en silice présente à l'état de trace dans l'effluent à recycler. Comme celui-ci subit un traitement sur évaporateur qui concentre l'acide borique mais aussi la silice, la teneur en silice dans l'eau à recycler peut atteindre la limite fixée par les spécifications radiochimiques définies pour l'eau d'appoint au réacteur. Dans ce cas, le recyclage de l'eau borée n'est pas possible et doit être rejetée (*cf.* fig 21). C'est ce qui explique en partie les variations importantes des rejets d'acide borique entre sites. L'acide borique non recyclé est enfûté en coque béton ou incinéré à l'usine Centraco de Marcoule comme un déchet radioactif.

Fig. 21 ➜ Rejets annuels moyens d'acide borique par palier de puissance, ramenés à une tranche de production



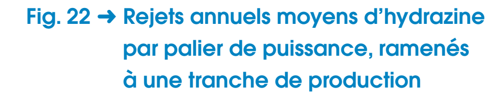
Élimination de l'hydrazine

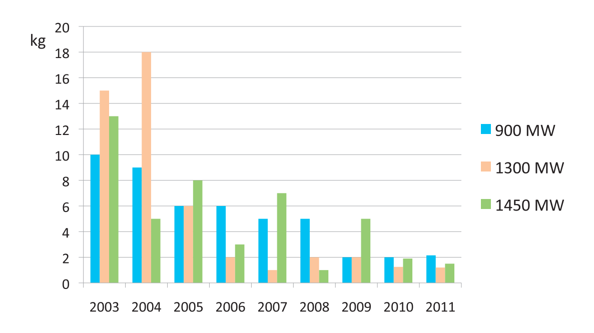
Lorsque la centrale est en fonctionnement, l'hydrazine du circuit secondaire (eau-vapeur) chemine par des circuits jusqu'aux réservoirs d'entreposage **T ou Ex de stockage** avant rejet. Dans ces réservoirs, l'hydrazine se décompose au contact de l'oxygène de l'air ambiant. De ce fait, les rejets d'hydrazine sont faibles (quelques kilos par réacteur et **par an**).

En arrêt de tranche, le conditionnement à l'hydrazine des générateurs de vapeur (côté secondaire) et du poste d'eau pouvait être à l'origine de rejets plus importants (jusqu'à quelques dizaines de kilos d'hydrazine **par jour)** lors de la vidange des circuits. Pour réduire ces rejets, les actions suivantes ont été prises :
- le **poste d'eau** est dorénavant conservé **à sec** sous air chaud après avoir été vidangé en début d'arrêt de tranche alors que la teneur en hydrazine dans le circuit est faible (environ 1 mg/L),
- l'hydrazine des effluents produits par la vidange des **générateurs de vapeur** en fin d'arrêt (300 et 400 m^3 à la concentration de quelques centaines de mg/L) est éliminée en quasi-totalité dans les réservoirs d'entreposage par un bullage à l'air comprimé ou par la mise en brassage prolongé des réservoirs.

Par ailleurs, les matériels (pompes d'injection, …) véhiculant de l'hydrazine concentrée font l'objet d'une attention particulière afin de déceler toute fuite de produit et d'y remédier.

En définitive, les rejets d'hydrazine ne représentent plus au total que **quelques kilogrammes par réacteur et par an** (*cf.* fig. 22).


Fig. 22 ➜ Rejets annuels moyens d'hydrazine par palier de puissance, ramenés à une tranche de production



Réduction des rejets d'azote total (hors hydrazine, morpholine, éthanolamine)

Le conditionnement du circuit secondaire et le traitement biocide des circuits fermés de refroidissement engendrent des rejets de substances azotées telles que l'ammoniaque, les nitrates et les nitrites. L'azote de l'hydrazine (N_2H_4), de la morpholine (C_4H_9NO) et de l'éthanolamine (C_2H_7NO) n'est pas pris en compte dans le vocable «azote total» ; celui-ci étant considéré au travers des teneurs en hydrazine et en morpholine des effluents (*cf.* chapitre 10 §4 du guide).

L'**ammoniaque** (NH_4OH) dans les effluents provient principalement :

- soit, de la décomposition thermique de l'hydrazine (et de la morpholine dans une moindre mesure),
- soit, de l'ammoniaque utilisée pour le conditionnement du circuit secondaire sur les unités sans alliages cuivreux.

L'ammoniaque se concentre fortement dans les purges des pompes à vide extrayant les gaz incondensables du circuit secondaire « eau-vapeur ». Ces purges contribuent pour une grande part au rejet d'ammoniaque d'une centrale nucléaire (plusieurs dizaines de kilos par jour pour un réacteur). Ces rejets peuvent être réduits en pratiquant le recyclage des purges des pompes à vide au condenseur. Mais ce recyclage peut entraîner une « pollution chimique » du circuit secondaire préjudiciable à la bonne tenue des matériels. Il n'est donc pas pratiqué sur les sites.

Les **nitrates** (NO_3) et les **nitrites** (NO_2) sont principalement produits par le traitement biocide à la monochloramine des circuits de refroidissement fermés. Les rejets de nitrates peuvent être réduits en optimisant les paramètres de traitement (injection au plus juste des quantités de réactifs en fonction du risque de colonisation des micro-organismes pathogènes, traitement séquentiel). L'expérience montre que les pics de rejet de nitrites surviennent lorsque le traitement est lancé pendant la phase de redémarrage de l'unité. Afin d'éviter ces pics de rejets, il est préconisé d'attendre que l'unité ait atteint la pleine puissance avant de démarrer le traitement biocide. Les nitrates et les nitrites sont aussi présents dans les eaux d'exhaure des salles des machines où ils se forment par oxygénation des produits azotés contenus dans ces eaux, notamment de l'ammoniaque.

Réduction des rejets de détergents

Les détergents proviennent du circuit de laverie du linge contaminé. Ces effluents ne font généralement l'objet que d'une filtration qui n'a pas d'efficacité vis-à-vis des détergents. Par ailleurs, la composition des détergents n'est pas bien connue (on sait simplement qu'ils sont biodégradables, sans EDTA, ni NTA, ni phosphates). Les fabricants sont réticents à communiquer des informations qu'ils considèrent comme relevant du secret industriel. Des efforts sont réalisés afin de limiter autant que possible l'utilisation des détergents. Les mesures de propreté radiologique mises en œuvre dans les centrales depuis le début des années 2000 et une gestion efficace des équipements ont permis de réduire les quantités de linge à laver ainsi que la fréquence de lavage des sols.

Réduction des rejets de métaux liés à l'usure des tubes de condenseurs en laiton

À l'origine, le parc nucléaire en exploitation (19 sites) comportait des installations avec des condenseurs dont les tubes pouvaient être soit en titane (bord de mer), soit en inox (sites fluviaux récents, Golfech, Chooz, Civaux), soit en laiton pour les autres sites.

Depuis les années 1990, la plupart des condenseurs en laiton ont été rénovés soit **en totalité** par des tubes en acier inoxydable, soit **partiellement** par des tubes en titane ou en acier inoxydable (*cf.* encart). Cette rénovation engagée a permis de réduire significativement les rejets de cuivre et de zinc sur les tous bassins hydrographique (*cf.* tab. VII).

Nota : Il n'existe pas de techniques industriellement et économiquement utilisables pour retenir ou piéger ces métaux dans les eaux de refroidissement en raison de leur très faible concentration dans les rejets.


Plaque tubulaire de condenseurs.

Tab. VII Taux de réduction des rejets de cuivre et zinc par bassin hydrographique.

Bassin hydrographique	Seine	Rhin	Loire	Moselle	Rhône
Réduction des rejets de cuivre et zinc par les condenseurs en laiton[1] en % de 1990 à 2012	≅ 100 %	≅ 100 %	≅ 75 %	≅ 8 %	≅ 85 %

1. Calculé au prorata du nombre de tube en laiton remplacés.

Rénovation des condenseurs en laiton

Depuis les années 1990, les condenseurs ont été rénovés ; les tubes en laiton ont été remplacés, en partie ou en totalité, par des tubes en acier inoxydable ou en titane (situation 2012).

Bassin de la Loire	Taux de tubes de condenseurs en laiton	Taux de tubes de condenseurs en acier inoxydable	Taux de tubes de condenseurs en titane
Belleville			
Unité 1	65 %	35 %	-
Unité 2	65 %	35 %	-
Dampierre			
Unité 1	-	100 % depuis 1990	-
Unité 2	80 %	-	20 %
Unité 3	-	100 % depuis 1995	
Unité 4	80 %	20 %	
St-Laurent			
Unité 1	-	50 % depuis 2009	50 % depuis 2005
Unité 2	-	100 % depuis 2011	-
Chinon			
Unité 1	-	100 % depuis 2009	-
Unité 2	-	100 % depuis 2010	-
Unité 3	-	100 % depuis 2009	-
Unité 4	-	100 % depuis 2010	-
Bassin du Rhône	Taux de tubes de condenseurs en laiton	Taux de tubes de condenseurs en acier inoxydable	Taux de tubes de condenseurs en titane
Bugey			
Unité 2	-	100 % depuis 1991	-
Unité 3	-	100 % depuis 1990	-
Unité 4	-	100 % depuis1999	-
Unité 5	-	100 % depuis1993	-
St-Alban			
Unité 1	-	100 % depuis 2007	-
Unité 2	-	100 % depuis 2008	-
Cruas			
Unité 1	50 %	-	50 % depuis 2003
Unité 2	50 %	-	50 % depuis 2001
Unité 3	50 %	-	50 % depuis 2000
Unité 4	50 %	-	50 % depuis 2002
Tricastin			
Unité 1	-	100 % depuis 1994	-
Unité 2	-	100 % depuis 1994	-
Unité 3	-	100 % depuis 1992	-
Unité 4	-	100 % depuis 1993	-
Bassin de la Moselle	Taux de tubes de condenseurs en laiton	Taux de tubes de condenseurs en acier inoxydable	Taux de tubes de condenseurs en titane
Cattenom			
Unité 1	100 %	-	-
Unité 2	75 %	-	25 % depuis 2011
Unité 3	100 %	-	-
Unité 4	75 %	-	25 % depuis 2011
Bassin du Rhin	Taux de tubes de condenseurs en laiton	Taux de tubes de condenseurs en acier inoxydable	Taux de tubes de condenseurs en titane
Fessenheim			
Unité 1	-	100 % depuis 2002	-
Unité 2	-	100 % depuis 2011	-
Bassin de la Seine	Taux de tubes de condenseurs en laiton	Taux de tubes de condenseurs en acier inoxydable	Taux de tubes de condenseurs en titane
Nogent/Seine			
Unité 1	-	100 % depuis 1998	-
Unité 2	-	100 % depuis 1999	-

Traitement des eaux usées ou eaux vannes (STEP)

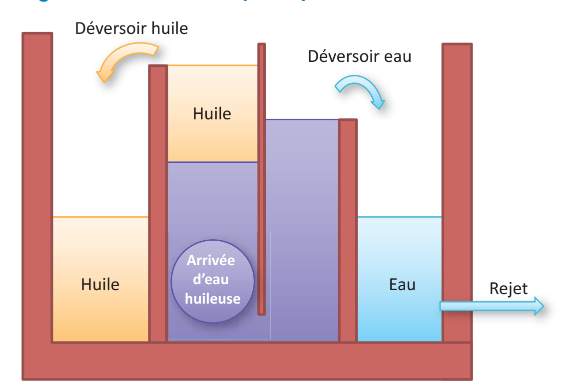
Les eaux usées d'origine domestique (sanitaires, eaux vannes) sont collectées par un réseau particulier puis dirigées vers une station d'épuration (STEP) avant rejet. Le traitement est assuré biologiquement par culture bactérienne et oxygénation. Les eaux épurées sont rejetées tandis que les boues récupérées dans les bassins de décantation sont éliminées comme déchets. Sur certains sites nucléaires (Nogent), les eaux usées sont orientées vers le réseau urbain de collecte pour y être traitées.

À la centrale de Flamanville, les eaux usées sont d'abord filtrées sur un tamis rotatif de maille 0,75 mm afin d'éliminer les sables et éléments grossiers ; elles sont ensuite dirigées vers deux filières de traitement fonctionnant en parallèle. Une première filière assure une épuration biologique dispose d'une capacité de traitement de 800 équivalents-habitants et permet de traiter environ 45 % du volume journalier d'effluent qui est d'environ 90 m^3 (*cf.* fig. 23). Une seconde filière, d'une capacité de 1 000 équivalents-habitants, épure le volume restant dans un réacteur biologique à membranes (microfiltration 0,4 µm). Les rejets de cette station d'épuration sont donnés dans le tableau VIII.

Traitement des eaux huileuses

Même rejetés en faible quantité, les hydrocarbures ont un impact visuel très marqué dans l'environnement (irisations à la surface de l'eau). Pour éviter les rejets huileux, les circuits présentant un risque de fuite d'hydrocarbures (circuit d'huile du groupe turbo-alternateur, réservoirs de gasoil des groupes électrogènes de secours…) sont équipés de rétentions étanches et les réseaux d'égouts situés à proximité de ces matériels sont orientés vers un dispositif de traitement appropriés tels que des déshuileurs (*cf.* fig. 24). Des mesures sont réalisées périodiquement à la sortie du système de traitement afin de s'assurer qu'il n'y a pas de traces d'hydrocarbures supérieures à la limite réglementaire (10 mg/L).

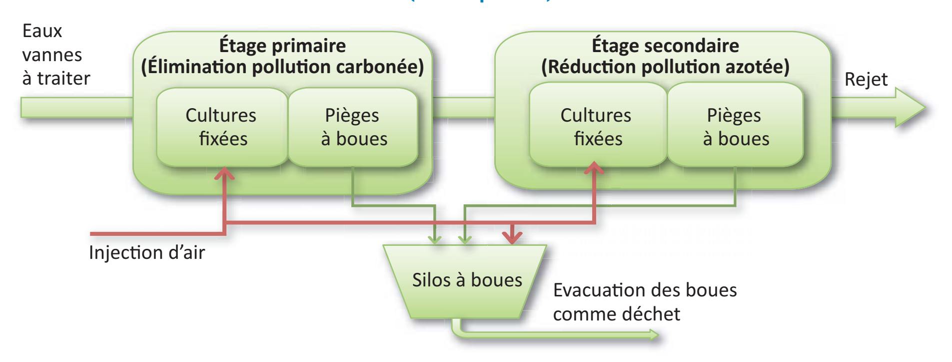
Fig. 24 ➜ Schéma de principe d'un déshuileur



Traitement des eaux de pluie

Le réseau d'égouts, qui collecte des eaux de pluie, recueille également les purges de circuits auxiliaires (chaudières auxiliaires, vidange des échangeurs intermédiaires, …). Ceci est à l'origine de rejet de phosphates notamment, qui ne représentent que quelques dizaines de kilogrammes par an et par réacteur. Ces rejets chimiques, ne transitant pas par les voies normales, sont toutefois identifiés et caractérisés (nature et quantité). Des modifications de circuits ont été réalisés et des dispositions d'exploitation sont mises en œuvre afin d'éviter les rejets par cette voie.

Fig. 23 ➜ Schéma de la STEP Sud de Flamanville (800 éq.-hab.).



Tab. VIII Unité de traitement à Flamanville (1 800 équivalent-habitants).

Limites autorisées (décision ASN n° 2010-DC-0189 du 7 juillet 2010).

Paramètres	Concentrations instantanées à respecter sur des mesures réalisées mensuellement
Phosphore	-
Azote kjeldahl	-
DBO5	35 mg/L
DCO	120 mg/L
MES	30 mg/L
pH	5,5–9,5

Les réseaux de collecte des eaux pluviales des parkings extérieurs au site sont équipés de rétentions et de systèmes de traitement (déshuileurs, débourbeurs) pouvant faire face à l'afflux d'eau dû à un gros orage. Ceci permet d'éviter le rejet de matières en suspension et d'hydrocarbures qui imprègnent les parkings de voitures.

4.3 Rejets chimiques liquides

Contrôle des rejets

Les contrôles effectués sur les effluents chimiques par l'exploitant découlent directement des impositions réglementaires qui fixent notamment :

- la localisation, la nature, la technique de mesure, la périodicité,
- les règles de comptabilisation des rejets,
- les limites à ne pas dépasser,
- les modalités de transmission des résultats de mesure à l'administration et au public.

Ces contrôles portent tant sur les **concentrations** des substances dans l'effluent que sur les **débits de rejet** (contrôle des flux de rejet). La nature et la fréquence des contrôles tiennent compte des enjeux environnementaux en termes de quantité rejetée et de toxicité de la substance (*cf.* fig. 25).

Les contrôles sont définis en distinguant :

- **les réservoirs ou capacités de collecte** (réservoirs T, S et Ex, fosse de neutralisation). Pour certaines substances, les résultats d'analyse doivent être connus avant chaque rejet car ils déterminent les conditions de rejet (**contrôle *a priori***) ; pour d'autres, les résultats n'interviennent qu'une fois le rejet effectué, au titre de la comptabilisation des flux de rejet journalier ou annuel (contrôle ***a posteriori***). Les analyses sur les effluents sont réalisées après avoir mis en brassage le réservoir afin d'obtenir un échantillon représentatif sur lequel seront effectuées les analyses requises. Les quantités de substances rejetées (flux) sont déterminées d'après les analyses de concentration, les volumes des réservoirs ou les débits de rejet associé au temps de rejet. Le réservoir ne peut être rejeté que si les conditions réglementaires de rejet sont respectées (*cf.* §4.5),
- **les émissaires** des stations d'épuration des eaux usées (STEP) et de déminéralisation, des purges des aéroréfrigérants ainsi que du traitement des eaux huileuses et de la collecte des eaux pluviales,
- **l'ouvrage de rejet principal** où le contrôle est réalisé :
  - par des mesures en continu de paramètres physico-chimiques. L'ouvrage de rejet principal des centrales implantées en bord de rivière est équipé d'une station multiparamètre permettant de relever en continu, le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité,
  - par des prélèvements périodiques sur lesquels des analyses de laboratoire sont opérées,
  - en déterminant le débit de rejet par mesure ou par calcul d'après les paramètres de fonctionnement des installations (*cf.* chapitre 6 sur les prélèvements d'eau).

Les analyses chimiques sont effectuées par le laboratoire « Effluents » de la centrale en référence à des normes (*cf.* chapitre 10 sur la métrologie environnementale). Certaines analyses peuvent être sous-traitées à des laboratoires extérieurs après accord du Directeur général de l'ASN. Les résultats des mesures sont consignés dans les rapports mensuels annuels « environnement » communiqués à l'administration et au public (*cf.* chapitre 4 sur l'information du public et chapitre 11 sur le rôle de l'administration).

Contrôle des rejets de cuivre et de zinc des condenseurs en laiton

Les rejets de cuivre et de zinc peuvent être déterminés de deux façons :

- d'après l'évaluation de la perte de matière mesurée par courants de Foucault dans le cadre des programmes de maintenance. Ces contrôles permettent d'estimer la perte d'épaisseur des tubes sur la durée de fonctionnement,
- à partir de mesures chimiques pratiquées dans le rejet général et à l'amont afin de déterminer les valeurs ajoutées (déduction faite des métaux déjà présents à l'amont).

Contrôle des rejets par bilan matière

Lorsqu'il n'est pas possible de mesurer les substances chimiques dans l'effluent car les concentrations y sont trop faibles, le rejet est déterminé à partir des quantités de produits injectés dans les circuits et de la connaissance des transformations de ces produits lors de la réaction chimique. Cette pratique est notamment utilisée pour les rejets de substances issues de la station de production d'eau déminéralisée (sodium, chlorures, sulfates) ou pour certains rejets des traitements antitartre et biocides.

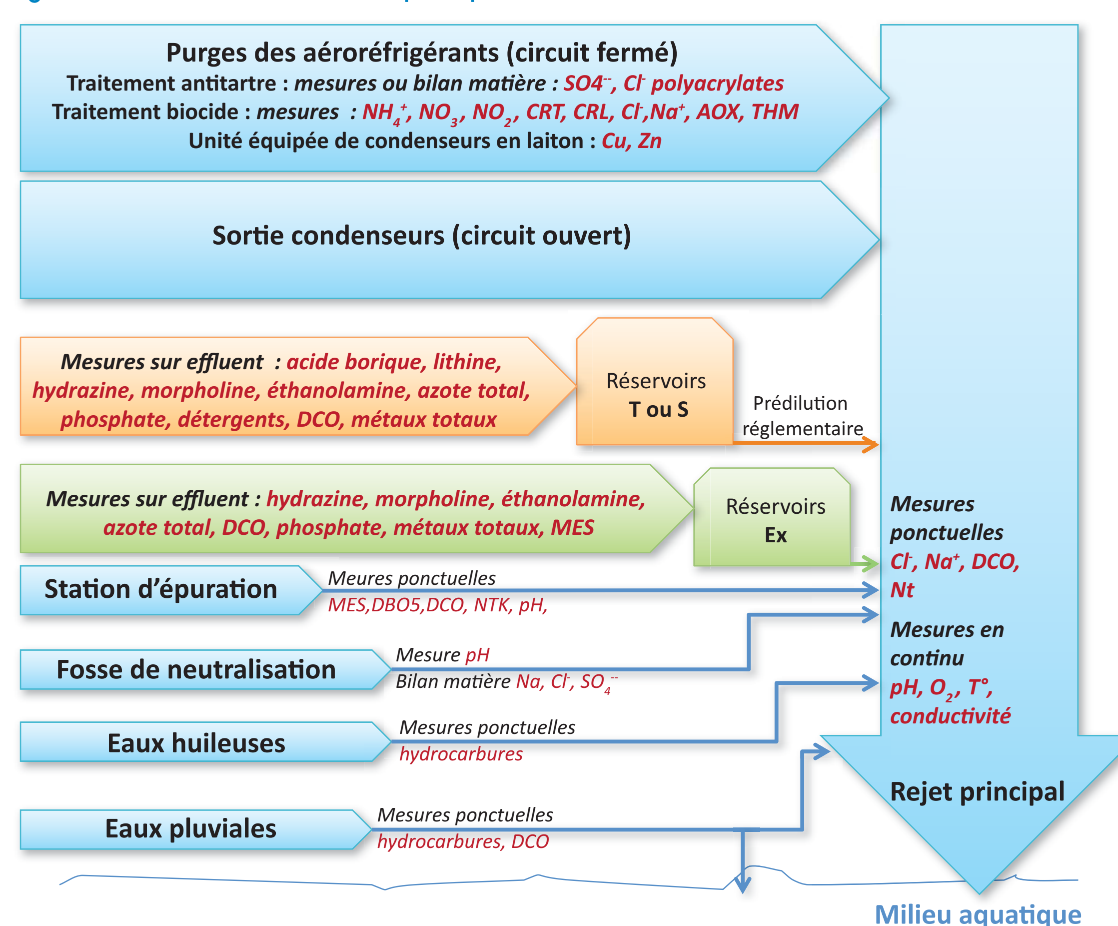
Contrôle dans le milieu aquatique en aval du rejet principal

Des mesures sont pratiquées dans le milieu récepteur **en aval** des rejets :

- périodiquement sur des substances faisant l'objet de limites à ne pas dépasser,
- en continu par la station multiparamètre aval (pH, O_2 dissous, conductivité, T°).

Sur les sites en bord de rivière, des mesures sont aussi réalisées ponctuellement ou en continu en amont du site (MES, métaux…) pour tenir compte de l'éventuel présence de ces substances dans le calcul des rejets « ajoutés » dans l'ouvrage principal (*cf.* chapitre 9 sur la surveillance de l'environnement).

Fig. 25 → Contrôle des effluents chimiques liquides



©EDF – Monteaux Michel

Limites de rejet

Les limites à ne pas dépasser dans les rejets pour les substances chimiques sont fixées par les autorisations de rejet accordées à chaque centrale nucléaire par l'ASN (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation). Ces limites peuvent porter sur :

- les concentrations dans les réservoirs avant rejet, dans les émissaires de rejet,
- les concentrations maximales ajoutées dans l'ouvrage principal de rejet,
- les flux de rejet annuels, journalier, et/ou sur 2 heures,
- les concentrations dans le milieu aquatique en aval des rejets,
- le choix des substances réglementées est fait sur la base des informations relatives aux rejets et à leur impact sur l'environnement et la santé présentées dans le dossier de demande d'autorisation (*cf.* chapitre 8 du guide sur la maîtrise des impacts).

Par ailleurs, les effluents rejetés ne doivent dégager aucune odeur, ni provoquer une quelconque coloration de l'eau.

Compte tenu des différences de conception entre les centrales, s'agissant des circuits non nucléaires et de la particularité liée à l'environnement de chaque site, les limites autorisées par la réglementation diffèrent d'un site à l'autre. À titre d'exemple, l'encart p. 140 fournit les limites chimiques fixées pour la centrale nucléaire de Golfech.

Niveau annuel des rejets chimiques liquides

Contrairement aux rejets radioactifs – assez homogènes –, les rejets annuels des principales substances chimiques sont très variables d'un site à l'autre (*cf.* tab. IX), en raison notamment des différences de conception de certains circuits et des difficultés rencontrées du fait de la qualité d'eau brute utilisée pour les besoins du site (présence de silice, eau entartrante…).

Tab. IX Rejets annuels moyens ramenés par unité de production (ordre de grandeur)

Provenance	Substances chimiques	Quantité annuelle rejetée pour une unité[1] en kg
Substances chimiques associées aux effluents radioactifs et aux eaux d'exhaure des salles des machines	Acide borique	1 000 à 7 000
	Hydrazine	⩽ 6
	Lithine	⩽ 1
	Morpholine	40 à 250
	éthanolamine	10 à 150
	Ammonium	⩽ 3 000
	Phosphates	⩽ 1 000
Usure des tubes de condenseurs en laiton (Belleville, Cattenom, Cruas, Dampierre)	Cuivre	⩽ 5 500
	Zinc	⩽ 1 700
Traitement antitartre des aéroréfrigérants	Sulfates (Golfech, Nogent, Chooz)	200 000 à 500 000
	Chlorures (Cattenom)	600 000
	Polyacrylates (Nogent)	25 000 à 30 000
Traitement biocide des circuits de refroidissement fermé à la monochloramine (Bugey, Dampierre, Chinon, St-Laurent, Golfech, Nogent, Chooz)	Ammonium	⩽ 350
	Nitrates	15 000 à 80 000
	Nitrites	⩽ 3 000
	AOX	⩽ 350
	THM	≃ 0
	Sodium	10 000 à 80 000
	Chlorures	10 000 à 100 000
	Chlore Résiduel Total	40 à 600
Traitement biocide à l'eau de javel des sites marins	Bromoformes	3 000 à 20 000
Station d'épuration STEP	Azote K	⩽ 800
	DBO5	⩽ 400
	DCO	⩽ 2 000
	P	⩽ 200
	Matières en suspension	⩽ 1 100
Station de production d'eau déminéralisée	Sulfates	⩽ 70 000
	Chlorures	1 500 à 100 000
	Sodium	5 000 à 60 000
	Matières en suspension	150 à 50 000

1. EDF Nucléaire et Environnement 2010–2011.



Extrait de l'arrêté du 18 septembre 2006 du CNPE de Golfech (2 unités de 1300 MWe)

« Article 21

I- Les tableaux ci-après définissent les rejets dirigés dans l'ouvrage de rejet principal

Rejets de substances chimiques issues uniquement des réservoirs T, S et Ex

Substances		Flux 2h (kg)	Flux 24 h (kg)	Flux annuel (kg)	Concentration maximale ajoutée dans l'ouvrage de rejet principal (mg/L)[1]
Acide borique (H_3BO_3)	combustible enrichi à 4,3 %	900	5 600	25 000[2]	50
Acide borique (H_3BO_3)	combustible enrichi à plus de 4,3 %			31 000[2]	50
Hydrate d'hydrazine (en N_2H_4)		8	23	160	0,44
Hydrate d'hydrazine (en N_2H_4) après 31/12/2008		-	4	80	0,09
Morpholine [3] (en C_4H_9ON)		-	80	1 000	1,7
Éthanolamine [3] (en C_2H_7ON)		-	16	600	0,44
Azote total (hors hydrazine, morpholine et éthanolamine), exprimé en N		-	124	4500	(4)
Phosphates (en PO_4^{3-})		100	160	1 000	5,5
Détergents		20	120	3 100	1,1
Métaux totaux (zinc, cuivre, manganèse, nickel, chrome, fer, aluminium)		-	4,5	145	0,12
MES		-	180	-	4,8
DCO		-	450	-	(4)

(1) Concentration déterminée sur la base du flux 2 h.
(2) Lorsqu'une vidange complète ou partielle d'un réservoir d'acide borique (réservoir REA Bore ou PTR) s'avère nécessaire les flux annuels en acide borique pourront être augmentés de 6 tonnes.
(3) L'éthanolamine et la morpholine sont exclusifs l'un de l'autre.
(4) Ces substances ayant plusieurs origines, les concentrations ajoutées dans l'ouvrage de rejet sont prescrites dans le tableau « Rejets de substances chimiques issues de plusieurs origines ».

Rejets de substances chimiques issues uniquement des circuits de refroidissement

Substance	Flux 2h maximal ajouté (kg)	Flux 24h maximal ajouté (kg)	Concentration ajoutée en moyenne 24h dans l'ouvrage de rejet principal (mg/L)
Traitement anti-tartre			
Sulfates	-	24 000	56
Anti-tartre organique sous forme de polyacrylates	-	1 800	4,2
DCO	-	2 340	(1)
Traitements biocides			
Chlore libre	7,7	15	0,1
Chlore résiduel total (CRT)	-	220	0,3
AOX	28	75	0,17
THM	0,75	1,8	0,004
Ammonium	-	73	(1)
Nitrates	-	3 035	(1)
Nitrites seuil 1[2]	-	230	-
Nitrites seuil 2[2]	-	1 130	-

(1) Ces substances ayant plusieurs origines, les concentrations ajoutées dans l'ouvrage de rejet sont prescrites dans le tableau « Rejets de substances chimiques issues de plusieurs origines ».
(2) Le seuil 1 correspond à un taux de transformation de la monochloramine en nitrites d'occurrence 90 %. Le seuil 2 correspond à un taux de transformation de la monochloramine en nitrites d'occurrence 100 %.

Rejets de substances chimiques issues de plusieurs origines

Substance	Flux 24h maximal ajouté (kg)	Concentration ajoutée en moyenne 24h dans l'ouvrage de rejet principal (mg/L)
Chlorures	5 100	12
Sodium	3 500	8
Azote total hors hydrazine, morpholine et éthanolamine (azote ammoniacal, nitrates, nitrites)	810	1,8
DCO	2 790	6,5

L'exploitant vérifie par calcul ou par toute autre méthode, les valeurs de rejets en flux de chaque installation ou traitement mentionnées dans sa demande d'autorisation. En cas de dépassement d'une de ces valeurs, l'exploitant en informe la DRIRE Midi-Pyrénées en précisant les justifications associées.

II- Le tableau ci-après définit les rejets pour les autres émissaires

Émissaires		Substances	Concentration maximale instantanée avant rejet (mg/L)
Eaux pluviales au point de rejet	W2 (n° 15), W3, n°s 8, 9, 10 et 16	Hydrocarbures	5
Stations d'épuration en sortie de chaque station au point de rejet (capacité globale de traitement de 1830 EH)	Principale (800 EH) AIE (250 EH) Bureaux entreprises (250 EH) Lomagne (230 EH) PAP (150 EH) Belvédère (150 EH)	DBO5	35
Effluents du réseau SEH en sortie du déshuileur		Hydrocarbures	10
Effluents en sortie de l'aire de transit de déchets industriels conventionnels		MES	40
		Hydrocarbures	5
Effluents issus du bassin de rétention	W1 (n° 12)	DCO	150
		Hydrocarbures	5

III- Impacts en Garonne

Pendant le traitement à la monochloramine, la concentration en composés organohalogénés (AOX) mesurée dans la Garonne en aval du site, ne doit pas dépasser 50 (µg/L).
Lors des rejets du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Golfech, la concentration en bore, mesurée dans la Garonne en aval du site, ne doit pas dépasser 1 mg/L.
Dans le cas des nitrites, la concentration moyenne journalière ajoutée à la Garonne doit rester inférieure à 0,15 mg/L sans pouvoir dépasser le double de cette valeur pendant une durée ne pouvant excéder 10 % de l'année.

4.4 Rejets gazeux non radioactifs

Rejets gazeux non radioactifs liés au lessivage chimique des générateurs de vapeur

L'encrassement des générateurs de vapeur peut nécessiter un lessivage chimique à l'origine de rejets chimiques gazeux (ammoniac…) qui nécessitent une autorisation administrative ; ces rejets sont, soit mesurés, soit estimés par calcul en fonction des quantités de produits chimiques utilisés.

Émissions des groupes électrogènes de secours

Les groupes électrogènes de secours composés de moteurs diesel ou de turbine à combustion (TAC) fonctionnant au gasoil sont destinés uniquement à alimenter des systèmes de sécurité et/ou à prendre le relais de l'alimentation électrique principale en cas de défaillance de celle-ci. Ils ont donc un rôle majeur en termes de sûreté nucléaire. Les émissions des gaz de combustion (SO_2, NO_X) de ces matériels de petites puissances sont faibles sachant qu'ils ne fonctionnent que peu de temps (moins de 50 h/an par diesel) lors des essais périodiques ou d'incidents (les émissions d'une TAC de 24 MWth sont inférieures à 5 kg/h pour le SO_2 et à 10 kg/h pour les NOx). Une évaluation annuelle de ces émissions est demandée par l'administration.

Émissions de produits pouvant affecter la couche d'ozone stratosphérique et accroître l'effet de serre

Une centrale nucléaire est équipée de groupes frigorifiques pour assurer la production d'eau glacée et pour la réfrigération des locaux techniques et administratifs. Ces matériels utilisent des produits pouvant appauvrir la couche d'ozone stratosphérique et accroître l'effet de serre. Le fonctionnement des matériels et les opérations de maintenance conduisent à des émissions annuelles de fluides frigorigènes de l'ordre de 5 000 kg pour l'ensemble des centrales. Ces émissions sont réglementairement déclarées et comptabilisées et des actions sont prises pour remédier à la situation.

5. Rejets thermiques

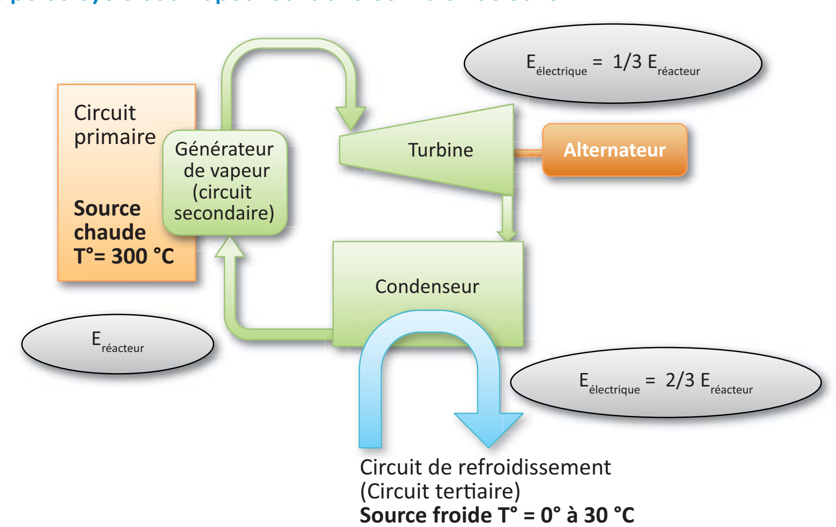
Dans une centrale nucléaire, le fluide « eau-vapeur » du circuit secondaire suit un cycle thermodynamique dit cycle de Carnot (*cf.* fig. 26) au cours duquel il échange de l'énergie thermique avec deux sources de chaleur, l'une chaude, l'autre froide.

La source chaude est constituée par l'eau du circuit primaire chauffée par l'énergie nucléaire du réacteur ; selon les points du circuit, la température de l'eau primaire varie de 286 °C à 323 °C. La haute pression régnant dans le circuit primaire (155 bars) permet à l'eau de rester en phase liquide. L'énergie thermique est extraite du circuit primaire par les générateurs de vapeur. La vapeur produite sous pression (58 à 77 bars) entraîne le groupe turbo-alternateur puis s'échappe de celui-ci pour se condenser au contact des tubes froids du condenseur. Le circuit assurant le refroidissement du condenseur (circuit tertiaire) constitue la **source froide** dont la température varie entre 0 °C et 30 °C environ.

La source froide, nécessaire au fonctionnement, peut être apportée :
- soit directement par l'eau prélevée en rivière ou en mer dans un circuit dit ouvert,
- soit indirectement par l'air ambiant au moyen d'un aéroréfrigérant dans un circuit dit fermé (*cf.* annexe 7.6).

Le rendement théorique d'un tel cycle (rapport η entre l'énergie utilisable pour la production d'électricité sur l'énergie fournie par le réacteur) dépend uniquement de la température, exprimée en Kelvin, des sources chaude et froide ; il est de 48 % environ[4]. Du fait des pertes thermiques et mécaniques, le rendement réel n'est que de 32 à 33 %, ce qui signifie que l'énergie thermique à évacuer au condenseur par la source froide représente les 2/3 de l'énergie fournie par le réacteur ou le double de l'énergie électrique produite par la centrale.

Fig. 26 ➜ Principe du cycle eau-vapeur dans une centrale nucléaire

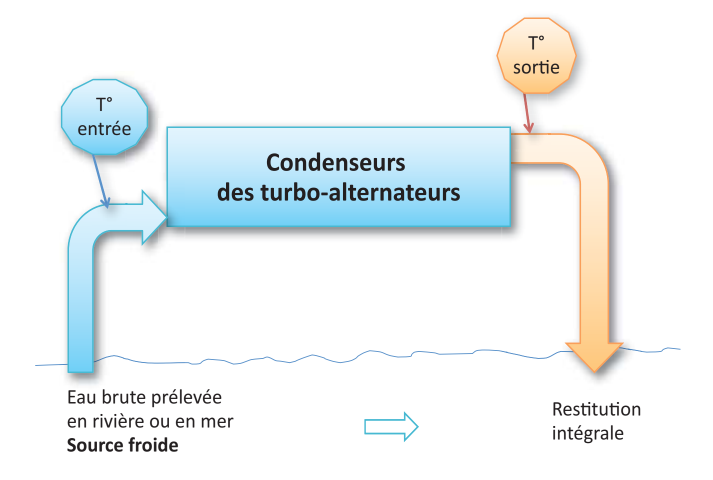


1. η= ($T°_{source\ chaude}$ – $T°_{source\ froide}$)/$T°_{source\ chaude}$; (300 – 25)/573 K = 0,48.
2. P_{th} = puissance thermique en MJ/s ; C = chaleur massique de l'eau à 15 °C : 4,186 MJ/m³/°C ; ΔT en °C ; Q en m³/s.

5.1 Caractéristiques des rejets thermiques en circuit ouvert

Lorsque la centrale est située sur un cours d'eau à grand débit (Fessenheim sur le Rhin, Bugey 2-3, St-Alban, Tricastin sur le Rhône) ou en bord de mer (Gravelines, Paluel, Penly, Flamanville) ou sur un estuaire (Blayais), l'eau prélevée à l'aide de pompes de circulation passe dans les nombreux tubes du condenseur où elle s'échauffe avant d'être restituée intégralement au milieu aquatique (*cf.* fig. 27 et tab. X).

Fig. 27 ➜ Schéma de principe d'un circuit ouvert



L'échauffement de l'eau (écart de température entre la sortie et l'entrée : ΔT°C) est lié à la puissance thermique (Pth) à évacuer au condenseur et du débit d'eau brute au condenseur (Q) par la relation : $\Delta T^1 = P_{th\ condenseur}/Q.C$ (*cf.* encart). La connaissance du rendement thermique (η) de l'installation permet d'exprimer l'échauffement en fonction de la puissance électrique produite par l'alternateur $\Delta T = P_{électrique}/Q.C.\eta$ (*cf.* encart). Signalons, par ailleurs qu'en bord de mer, le débit d'eau de circulation dans les condenseurs varie de 10 % à 15 % avec la marée.

Tab. X Échauffement de l'eau au passage du condenseur

Au fonctionnement nominal ($T°_{sortie} - T°_{entrée}$).

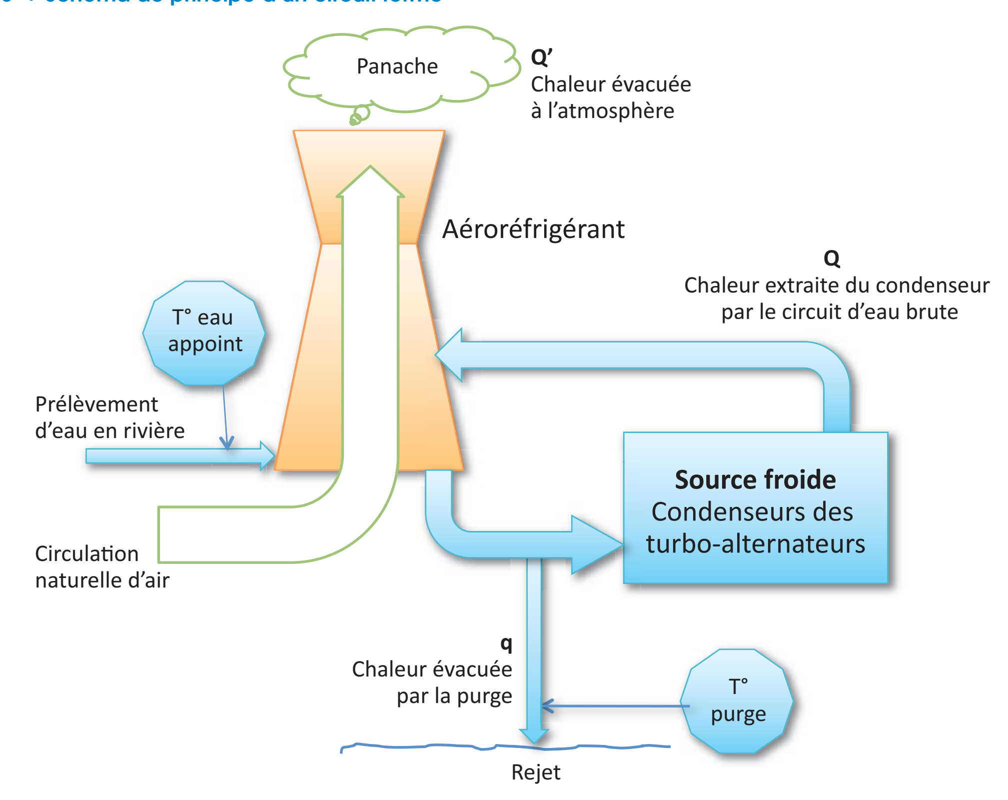
Palier 900 MWe		Palier 1300 MWe		EPR 1650 MWe
Rivière	Mer	Rivière	Mer	Mer
10 °C	10–12 °C	10 °C	12–15 °C	12–14 °C

Les ouvrages de rejet sont conçus pour minimiser l'impact des rejets de chaleur sur l'écosystème (*cf.* chapitre 8 sur la maîtrise des impacts).

5.2 Caractéristiques des rejets thermiques en circuit fermé

Afin de réduire le volume d'eau prélevée et limiter l'échauffement du milieu aquatique, le refroidissement des centrales comportant plusieurs unités de production implantées sur des cours d'eau à faible ou moyen débit est assuré en circuit fermé au moyen d'aéroréfrigérants (*cf.* fig. 28).

Fig. 28 ➜ Schéma de principe d'un circuit fermé



Dans un aéroréfrigérant, une grande part de la chaleur extraite du condenseur (Q) est transférée directement à l'atmosphère (Q'> 0,9 Q) sous forme de chaleur latente de vaporisation (75 %) et sous forme de chaleur sensible (25 %).

Le reste de la chaleur est rejeté au cours d'eau par la purge (q). La purge de l'aéroréfrigérant constitue donc le **rejet thermique** de l'installation.

La température de l'eau de la purge répond à la relation : **$T°_{purge}$ = T°ha + A**,où T°ha = température humide de l'air et A l' « approche » qui est un paramètre de dimensionnement de l'aéroréfrigérant fixé à la conception : il est de l'ordre de 11 °C dans les aéroréfrigérants des centrales nucléaires d'EDF (*cf.* fig. 29).

Lorsqu'en été par exemple, la température de l'air chute brutalement à 12 °C, alors que la température de l'eau du cours d'eau (qui est environ égale à la moyenne des températures des 15 derniers jours) reste à 25 °C, la température de l'eau de purge peut être inférieure à celle du cours d'eau : $T°_{purge}$ = 12 °C + 11 °C = 23 °C.

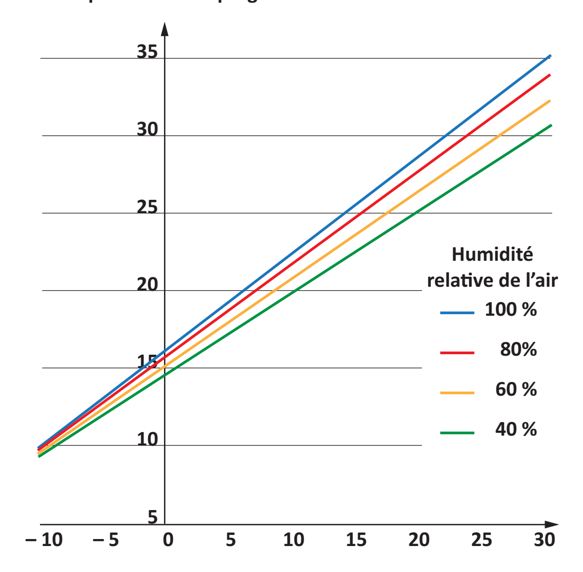
Dans le cas général, la température de la purge est supérieure à celle du cours d'eau. Cet écart est plus marqué en hiver qu'en été. Ainsi, si l'air hivernal devient subitement doux (10 °C) alors que la température du cours d'eau est basse (1 °C ou 2 °C), l'écart de température entre la purge et la prise d'eau peut atteindre une vingtaine de degrés (*cf.* chapitre 2 §3.4 du guide).



Purge d'un aéroréfrigérant

Le fonctionnement d'un aéroréfrigérant conduit « naturellement » à réduire, voire à annuler le rejet thermique dû à la purge durant les périodes chaudes, ce qui est favorable à l'écosystème aquatique. L'efficacité des aéroréfrigérants dépend également de la propreté des installations, d'où la nécessité d'éviter les dépôts de tartre et de matières organiques sur les corps d'échanges (packing).

Fig. 29 ➜ Température de la purge en fonction des conditions atmosphériques



5.3 Rejets thermiques

Contrôle des températures

Les contrôles destinés à s'assurer du respect des limites réglementaires s'appuient sur des mesures de température réalisées dans le rejet et dans l'environnement ou sur des calculs effectués à partir de paramètres physiques tels que le rendement thermodynamique, l'énergie électrique produite, les débits de rejet et du cours d'eau (*cf.* encart).

Limites de rejet

Les rejets thermiques sont réglementés par la Directive européenne du 18 juillet 1978, codifiée par la directive européenne 2006/44/CE du 6 septembre 2006 concernant la qualité des eaux douces ayant besoin d'être protégées ou améliorées pour être aptes à la vie des poissons (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).

Sites fluviaux

La Directive européenne de 2006/44/CE fixe les limites suivantes :

- T° aval < 28 °C ; échauffement < 3 °C pour les eaux cyprinicoles,
- T° aval < 21,5 °C ; échauffement < 1,5 °C pour les eaux salmonicoles.

La directive précise que ces valeurs peuvent être dépassées pendant 2 % du temps (soit 7 jours par an) et des dérogations limitées géographiquement peuvent être accordées par les états membres dans des conditions particulières, et s'il est prouvé que ces dérogations n'auront pas de conséquences nuisibles pour le développement équilibré des peuplements de poissons).

Contrôle des rejets thermiques

Centrales implantées sur des cours d'eau

Les rejets thermiques sont contrôlés à partir de mesures de température et de paramètres de fonctionnement de la centrale. Ces données permettent de suivre :

- l'échauffement du cours d'eau entre l'amont et l'aval après mélange, noté : **ΔT°**,
- la température aval après mélange, notée : **$T°_{aval\ après\ mélange}$**,
- la température du rejet, le cas échéant : **$T°_{rejet}$**.

a) Contrôle d'après les mesures de température en amont et en aval après mélange

Dans ce cas, le DT° est calculé par la formule (1) et la $T°_{aval\ après\ mélange}$ est donnée par la mesure.

(1) $\Delta T° = T°_{aval} - T°_{amont}$; cas de la centrale de Nogent refroidie en circuit fermé.

b) Lorsque les mesures ne permettent pas de connaître avec précision la température « aval après mélange », ΔT° et T°aval après mélange sont calculés à partir des formules (2), (3) et (4) en fonction du débit du rejet principal (Qrejet), du débit du cours d'eau ($Q_{rivière}$) et de la puissance de la centrale ($P_{thermique}$).

(2) $\Delta T° = (T°_{rejet} - T°_{rivière\ amont}) \times Q_{rejet}/Q_{rivière}$; cas des centrales de Golfech, Dampierre, St-Laurent et Chinon, Belleville, Chooz, Civaux refroidies en circuit fermé. Les formules de calcul sont semblables pour Cattenom et Cruas (cf. autorisations de rejet).

(3) $\Delta T° = (P_{thermique} \times \text{coefficient thermique})/(\text{débit}_{canal\ de\ Donzère} \times \text{chaleur massique de l'eau})$ à Tricastin,

(4) $\Delta T° = (P_{thermique} \times \text{coefficient thermique})/(\text{débit}_{Rhône} \times \text{chaleur massique de l'eau})$ à St-Alban et Bugey.

Connaissant l'échauffement ΔT, la T°aval après mélange est déduite de la température « amont » par la formule (5).

(5) $T°_{aval\ après\ mélange} = T°_{amont} + \Delta T°$

c) Cas de Fessenheim qui prélève dans le Grand canal d'Alsace, l'échauffement représente l'écart de température entre le rejet et l'eau du canal en amont de la centrale (6).

(6) $\text{Écart de } T° = T°_{rejet} - T°_{canal\ amont}$

Centrales en bord de mer et en estuaire (refroidies en circuit ouvert)

Les rejets thermiques sont contrôlés par :

- la mesure en continu de la température à l'entrée du condenseur (prise d'eau) pour Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines, ou, pour Blayais, de la température de la Gironde en amont des prises d'eau,
- la mesure en continu dans le canal de rejet ou dans le puits ou bassin de rejet.

Ces mesures permettent de calculer l'écart de température (échauffement) entre le rejet et l'amont (prise d'eau en mer ou Gironde pour Blayais).

(7) $\text{Écart de } T° = T°_{de\ rejet} - T°_{prise\ d'eau}$; cas des centrales de Gravelines et de Paluel.

Lorsqu'il n'est pas possible de connaître cet écart de température par des mesures, celui-ci est calculé en fonction de la puissance de l'installation et du débit de rejet.

(8) $\text{Écart} = k.\ P_{électrique\ brute}/Q_{rejet}$ (k étant un coefficient dépendant de la chaleur massique de l'eau et du rendement thermique de la centrale) ; cas des centrales de Penly et de Flamanville.

Sur ces bases, les limites relatives aux rejets thermiques des centrales nucléaires fluviales sont définies dans les textes réglementaires propres à chaque site au travers d'arrêtés d'autorisation ou de décisions de l'ASN (*cf.* annexe 7.7).

Situations climatiques exceptionnelles

À la suite de la canicule de 2003, des dispositions relatives aux situations climatiques exceptionnelles ont été introduites dans les autorisations de rejet des centrales nucléaires implantées sur des cours d'eau. Quand, dans ces situations (canicule-sécheresse), les limites habituelles ne peuvent plus être respectées, les conditions de rejet thermique peuvent être modifiées avec des réserves précisées dans les autorisations (*cf.* Art. 25 du décret du 2 novembre 2007 relatif aux INB).

Sites marins

Il n'existe pas de Directive européenne limitant les rejets thermiques. Des limites existent toutefois dans les arrêtés propres à chaque site marin. La centrale nucléaire du Blayais sur l'estuaire de la Gironde est réglementée de la même façon qu'un site marin (*cf.* annexe 7.7).

Niveau des rejets thermiques

Circuit ouvert en mer

Les rejets thermiques en mer sont donnés à titre d'exemple pour la centrale de Gravelines qui rejette en mer du Nord (*cf.* tab. XI).

Circuit ouvert en rivière

L'échauffement du canal de Donzère-Mondragon dû au fonctionnement de la centrale nucléaire de Tricastin refroidie en circuit ouvert est fourni dans le tableau XII.

Circuit fermé

L'échauffement des cours d'eau dû au fonctionnement d'une centrale nucléaire refroidie en circuit fermé est de quelques dixièmes de degrés (*cf.* tab. XIII).

Le refroidissement en circuit fermé au moyen d'aéroréfrigérant permet de réduire le volume d'eau prélevé et l'échauffement du milieu aquatique par rapport à un circuit ouvert. À ce titre, ce procédé de refroidissement par aéroréfrigérants constitue, pour les centrales installées sur les cours d'eau, ce qu'il est convenu d'appeler la **meilleure technique disponible (MTD)** au sens réglementaire du terme (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).



Centrale nucléaire de Nogent sur la Seine (2 × 1 300 MWe : 212 ha).

Tab. XI Température journalière au rejet et échauffement moyen journalier de la centrale nucléaire de Gravelines (6 unités de 900 MWe)

Centrale de Gravelines	Valeur journalière **moyenne mesurée** sur la période 2002-2006	Valeur journalière **maximale mesurée** sur la période 2002-2006	Limite autorisée sur la période 2002-2006
Température mesurée dans le canal de rejet *du 1er novembre au 31 mai*	19,1 °C	26,5 °C	30 °C
Température mesurée dans le canal de rejet *du 1er juin au 31 octobre*	27,3 °C	31,9 °C	35 °C
Échauffement entre le canal de rejet et la prise d'eau	9,7 °C	11,5 °C	12 °C

source VD3-900

Tab. XII Échauffement journalier moyen du canal de Donzère-Mondragon dû au rejet de la centrale nucléaire de Tricastin (4 unités de 900 MWe)

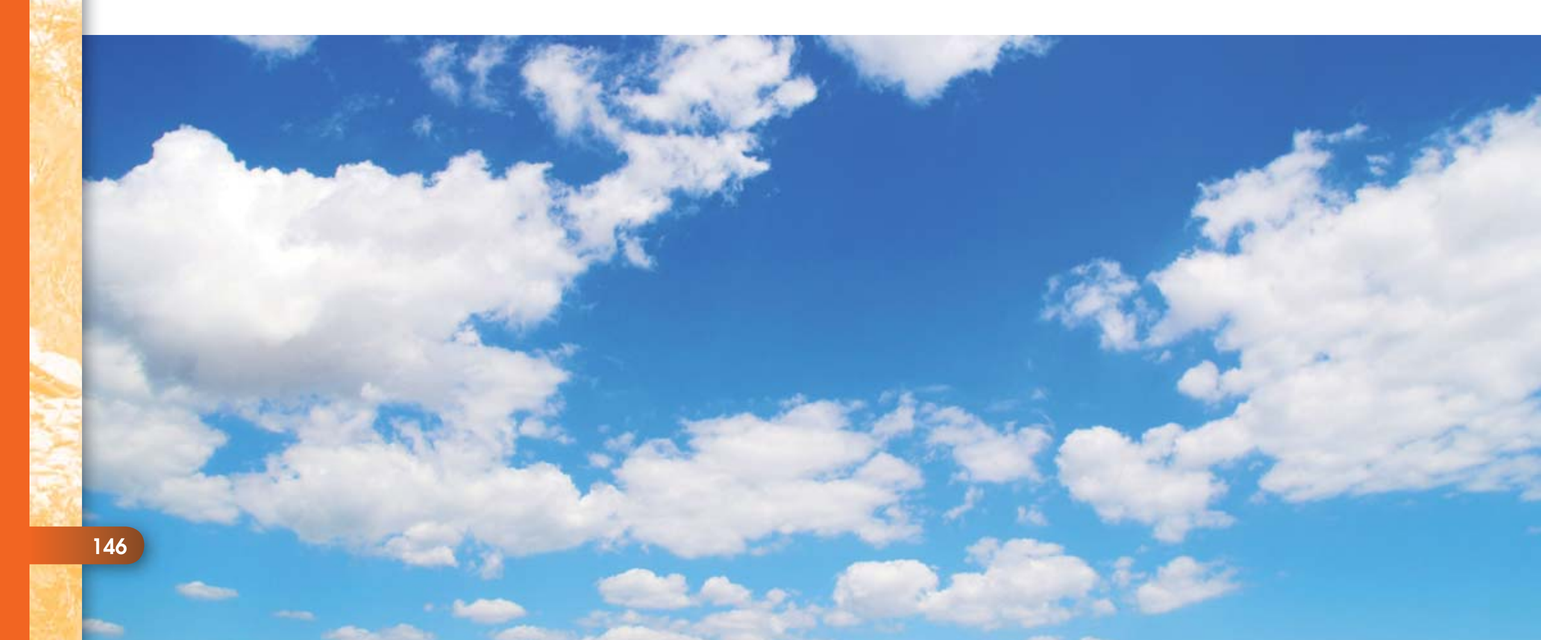
Centrale de Tricastin	Valeur journalière **moyenne mesurée** sur la période 2002-2006	Valeur journalière **maximale mesurée** sur la période 2002-2006	Limite autorisée sur la période 2002-2006
Échauffement DT° après mélange	1,6 °C	5,6 °C	7 °C

source VD3-900

Tab. XIII Échauffement moyen et maximal du cours d'eau à Dampierre, St-Laurent et Chinon

Sites sur la Loire	Échauffement moyen journalier **calculé** sur la période 2002-2006	Échauffement maximal journalier **calculé** sur la période 2002-2006	Limite autorisée
Dampierre	0,18 °C	0,85 °C	1 °C
St-Laurent	0,11 °C	0,42 °C	1 °C
Chinon	0,13 °C	0,62 °C	1 °C

source VD3-900



6. Utilisation des eaux tièdes issues des circuits de refroidissement

6.1 Objectif

Dans une centrale refroidie en circuit fermé ou en circuit ouvert fonctionnant à pleine puissance, la température de l'eau tiède à la sortie des condenseurs est supérieure de quinze à vingt degrés à celle de l'air ambiant.

Cette source de chaleur peut être mise à profit pour alimenter des serres maraîchères ou horticoles, des fermes aquacoles, voire d'autres industries. Elle permet à ces installations de réaliser des économies d'énergie et limite le recours à des moyens de chauffage faisant appel à des énergies fossiles émettrices de gaz à effet de serre.

La fourniture gratuite d'eau tiède n'est garantie ni en température ni en débit. Elle peut être interrompue pour des raisons techniques (arrêt de la centrale). Le raccordement des installations bénéficiaires à plusieurs unités de la centrale améliore la continuité de la fourniture en eau. Pour maîtriser leur outil de production, les utilisateurs doivent disposer d'installations de secours.

6.2 Aspects réglementaires et applications

La loi du 15 juillet 1980 et le décret du 13 mai 1981 sur les économies d'énergie et l'utilisation de la chaleur, codifié dans le code de l'énergie, demande aux exploitants de centrales électriques de contribuer à la production combinée d'électricité et de chaleur, notamment en favorisant, en accord avec les collectivités locales, la création et le développement de réseau de chaleur. Le code précise en particulier que la chaleur provenant des rejets thermiques est gratuite mais que les charges d'équipement, d'exploitation, d'entretien et de renouvellement des installations de récupération incombent à l'utilisateur (*cf.* encart).

Centrales fournissant leurs eaux tièdes

St-Laurent

Le site de St-Laurent a servi de zone d'expérimentation et de démonstration des possibilités d'utilisation des eaux tièdes en aquaculture et en agriculture de 1975 à 1982. Une zone de 32 ha a été aménagée par la SAR en 1984 à usages agricoles. Elle est alimentée par les eaux tièdes des deux unités de la centrale.

Bugey

Une zone horticole a été créée en 1984. Elle est alimentée par 300 L/s d'eau tiède prélevée sur les unités 4 et 5 refroidies en circuit fermé, sauf en période de traitement à la monochloramine.

Chinon

La commune d'Avoine et le district rural du Véron ont créé une zone d'activité agro-industrielle de 40 ha, alimentée par les quatre unités de la centrale de Chinon B (1 m^3/s). Des entreprises horticoles et maraîchères s'y sont installées ainsi qu'une usine de séchage du bois en 1989.

Cruas

Le syndicat départemental d'équipement de l'Ardèche a aménagé une zone horticole et maraîchère de 18 ha, alimentée par deux des quatre unités de la centrale (100 m^3/h).

Dampierre

La Coopérative d'utilisation de matériels agricoles a signé une convention avec la centrale pour alimenter un lotissement agricole de 120 ha (1 à 2 m^3/s).

Civaux

Signée en 2001, une convention avec la commune de Civaux permet d'alimenter en eau tiède (1 000 m^3/h) un élevage de crocodiles, une salle omnisport, une maison de retraite et une piscine.

Golfech

Une convention a été signée en 1991 avec la commune de Golfech pour la fourniture de 230 m^3/h d'eau destinée au chauffage d'une piscine, d'un groupe scolaire, d'une maison de retraite et d'une salle polyvalente.

Gravelines

Centre aquacole

Le centre aquacole de Gravelines, créé en 1983, a pris une dimension industrielle à partir de 1987. La société d'économie mixte Gravelines aquaculture, devenue Aquanord SA en 1988, a fait réaliser des travaux d'adduction d'eau qui prélève 13 m^3/s d'eau tiède à la sortie de trois des six unités de la centrale. Ce prélèvement alimente une écloserie marine (alevins de bars essentiellement) et une ferme de grossissement de bars et de daurades royales.

Terminal méthanier

À partir de 2015, l'eau tiède de la centrale nucléaire de Gravelines est utilisée pour réchauffer le gaz liquéfié du port méthanier. Cet apport d'énergie permet au port méthanier de se passer de la construction d'une centrale thermique au gaz de 250MWth et donc d'éviter des émissions de gaz à effet de serre. Une convention a été signée en 2010 avec DK LNG pour fournir entre 8 et 12 m^3/s d'eau tiède.



Ferme aquacole à Gravelines.

Bibliographie

- EDF, Guide « Eau et environnement », 1996.
- EDF, Guide « Nucléaire et environnement », 1996.
- EDF, Nucléaire et Environnement, 2010, 2011.

Annexe 7.1

Fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisée

La centrale nucléaire utilise l'énergie libérée par la fission nucléaire pour produire de l'électricité. Dans les Réacteurs à Eau Pressurisée (REP), le cœur du réacteur avec le combustible nucléaire est placé dans une cuve remplie d'eau. Cette eau, dont la température est d'environ 300°C, est maintenue sous forte pression par le pressuriseur (155 bars) pour éviter son ébullition ; elle est mise en circulation par des pompes dans un circuit fermé appelé « *circuit primaire* ». L'énergie thermique de l'eau primaire est transférée à un autre circuit d'eau dit « *circuit secondaire* » au moyen d'échangeurs de chaleur : les « *générateurs de vapeur* ». La vapeur issue des générateurs de vapeur actionne une turbine qui entraîne un alternateur produisant l'électricité.

Les réacteurs nucléaires d'EDF en exploitation sont de type REP. Les réacteurs EPR (european pressurized reactor) sont du même type (cf. fig. A7.1. 1).

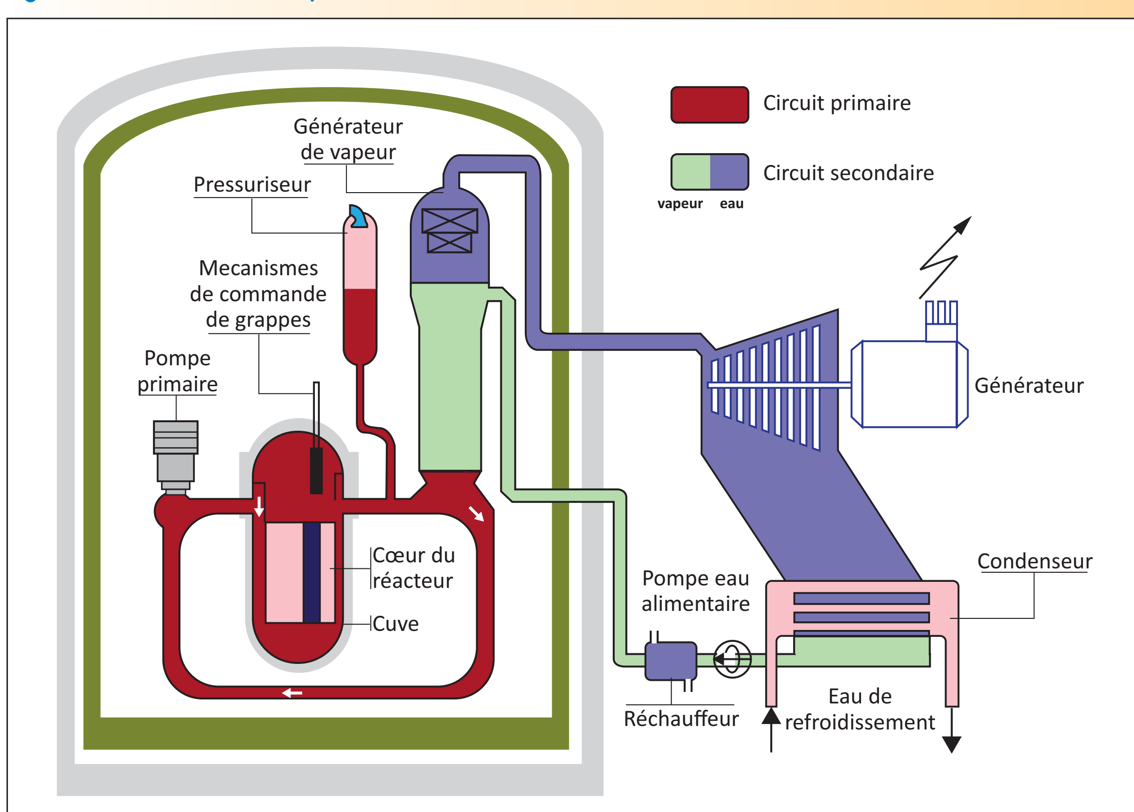
Le combustible nucléaire

Dans le cœur d'un réacteur de type REP, l'uranium se trouve sous forme de petites pastilles (environ 1 cm de diamètre et 1 cm de long) qui sont empilées dans un tube métallique étanche appelé *gaine* du combustible. Cette gaine métallique (en alliage de zirconium « zircaloy ») empêche les radionucléides de s'échapper dans l'eau du circuit primaire. Elle constitue la «première barrière» entre le combustible et l'environnement.

Ces tubes ou crayons sont assemblés de façon régulière dans une structure appelée assemblage combustible, qui regroupe quelques centaines de crayons (*cf.* fig. A7.1.2). C'est entre ces tubes que circule l'eau primaire qui, au contact des crayons, va extraire la chaleur dégagée par la fission.

Dans ce type de réacteur, la réaction nucléaire en chaîne n'est possible dans la durée que si le com-

Fig. A7.1.1 ➜ Réacteur à eau pressurisée



bustible composé d'oxyde uranium est enrichi à hauteur de 3 à 5 % en uranium 235 qui seul est fissile. L'uranium naturel n'en contient qu'environ 0,7 %, le reste étant de l'uranium 238. La fission peut aussi être obtenue sur des isotopes du plutonium. Certains combustibles sont donc réalisés à partir d'oxyde mixte d'uranium et de plutonium (appelé MOX).

Fig. A7.1.2 ➜ Le combustible nucléaire



Le modérateur

La fission d'un noyau de l'uranium 235 ou d'autres atomes fissiles est beaucoup plus facile si les neutrons ont une faible énergie ou vitesse (2 km/s). Or les neutrons produits par la fission sont émis à très grande vitesse (20 000 km/s). Il est donc nécessaire de les ralentir en les faisant « rebondir » sur des atomes légers. L'eau du circuit primaire, composée d'oxygène mais surtout d'atomes d'hydrogène très légers, permet de ralentir les neutrons. Dans un réacteur à eau légère, l'eau assure à la fois la fonction de caloporteur et de modérateur.

Le contrôle de la réaction nucléaire en chaîne

Pour entretenir une réaction en chaîne, il est nécessaire qu'à chaque instant le nombre de neutrons produits par fission soit égal au nombre de neutrons qui disparaissent par capture dans le combustible et les structures du réacteur ou en s'échappant du cœur.

Pour assurer cet équilibre, il est possible d'agir :

- soit sur les grappes de commande que l'on introduit plus ou moins dans le combustible pour modifier le flux de neutrons,
- soit en injectant dans l'eau du circuit du bore 10 sous la forme d'acide borique qui a la propriété de capturer les neutrons en produisant du tritium.

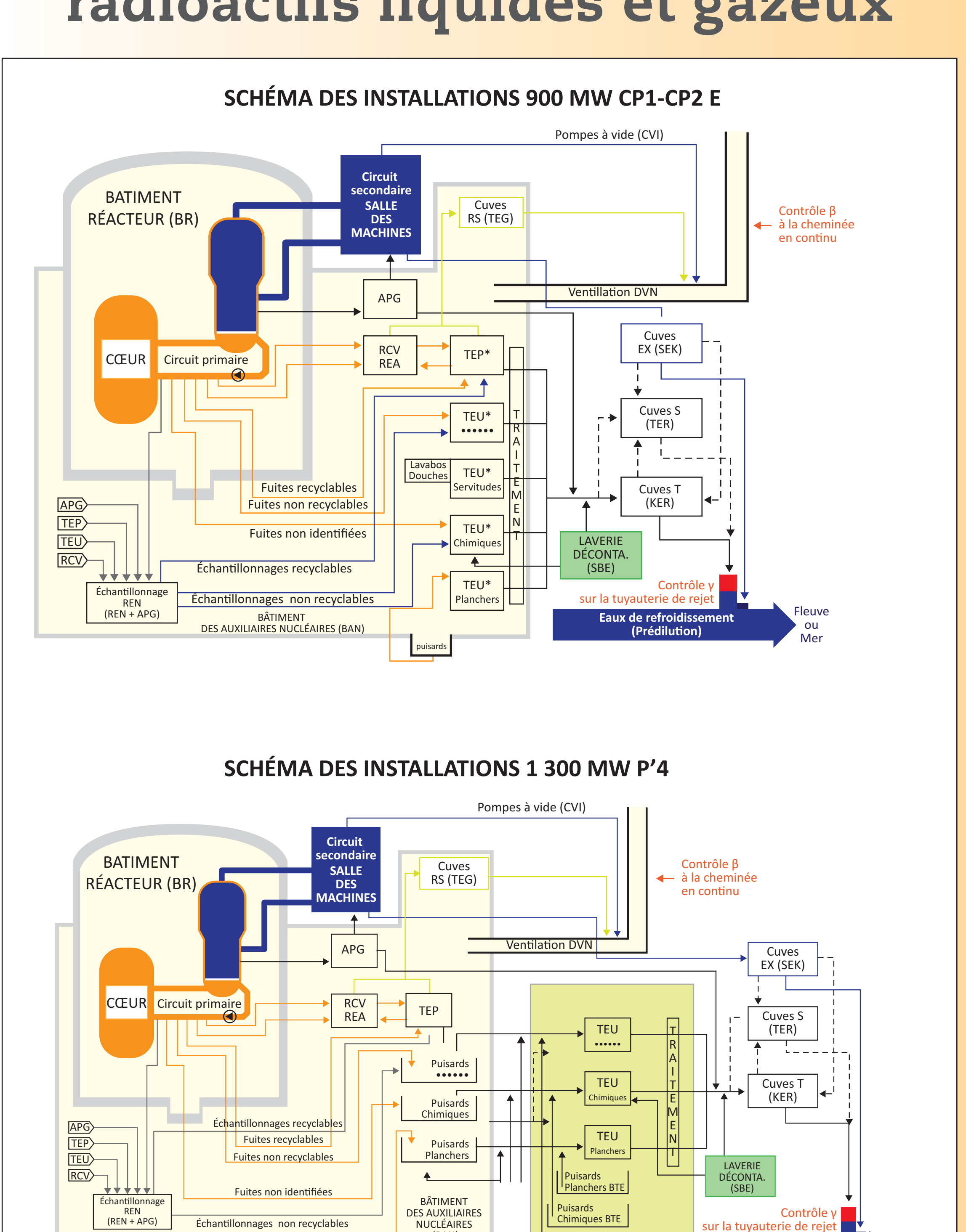
Évolution du combustible nucléaire en fonctionnement

Au fur et à mesure que les fissions se produisent dans le cœur, le nombre de noyaux fissiles d'uranium ou de plutonium diminue. Au bout de quelque temps, appelé cycle de fonctionnement (1 an environ), le combustible doit être renouvelé par tiers ou par quart de cœur. Cette opération nécessite l'arrêt du réacteur.



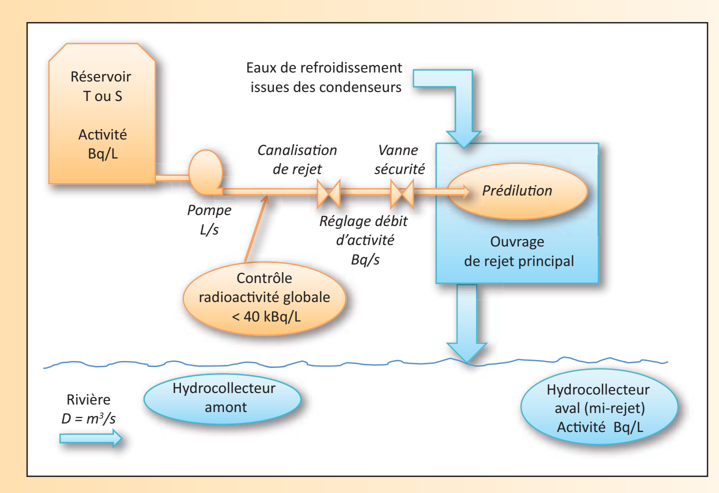
Annexe 7.2

Installation de collecte et de traitement des effluents radioactifs liquides et gazeux



Annexe 7.3

Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides. Site sur cours d'eau



L'hydrocollecteur placé en aval du rejet permet de prélever automatiquement 24 échantillons dans la journée (un échantillon par heure). Parmi les échantillons « ayant vu » le rejet, le godet médian est analysé pour effectuer le contrôle réglementaire dit « à mi rejet ».

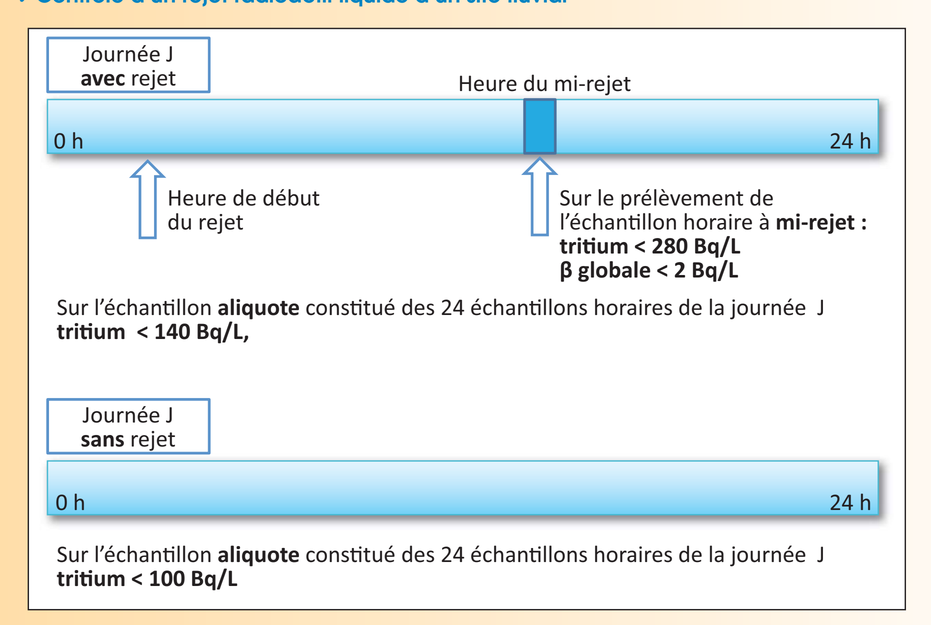
L'heure du « mi-jet » est déterminée par la formule suivante :

$$H_{(mi\text{-}rejet)} = H_{(début\ du\ rejet)} + (Durée\ du\ rejet)/2 + Durée\ du\ transit$$

Le temps de transit de l'effluent entre le point de rejet et l'hydrocollecteur est fonction du débit du cours d'eau ; il est obtenu au moyen d'un abaque.

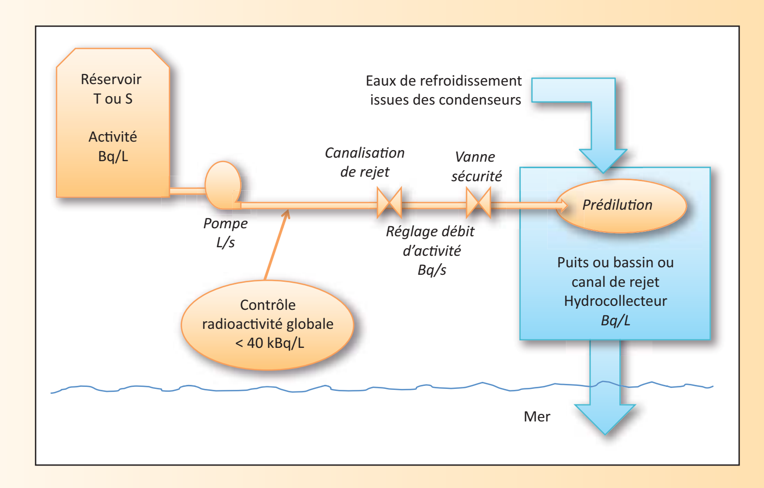
Avant rejet, le réservoir T d'effluent radioactif est analysé. Le rejet est ensuite réalisé en ouvrant la vanne de réglage de débit de sorte à respecter la limite de débit d'activité (Bq/s), le facteur de prédilution et les activités volumiques à la station de mi-rejet. **Après rejet**, les godets de l'hydrocollecteur sont récupérés pour analyse (*cf.* fig. A7.3.1).

Fig. A7.3.1 ➜ Contrôle d'un rejet radioactif liquide d'un site fluvial



Annexe 7.4

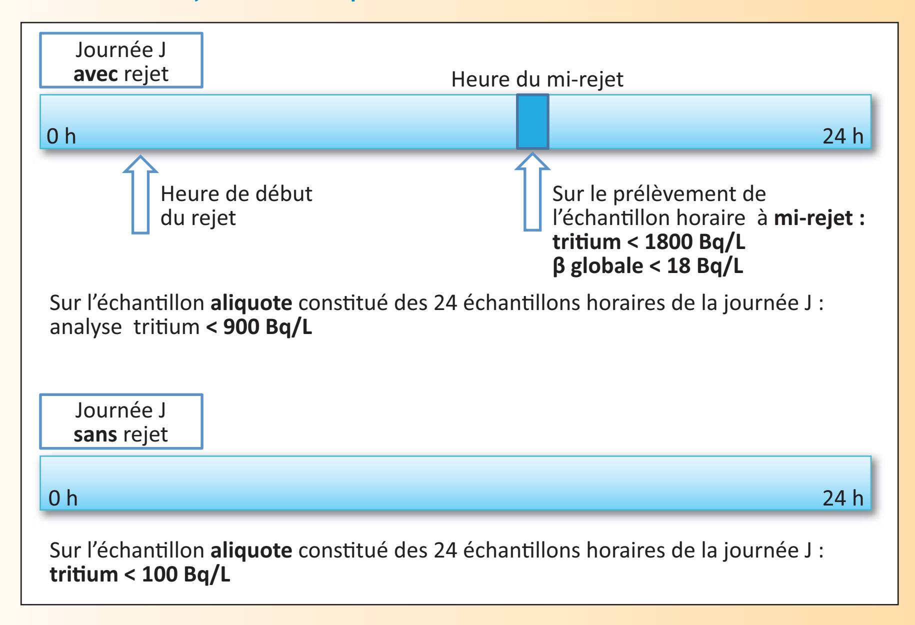
Modalités de rejets des effluents radioactifs liquides. Site marin



L'hydrocollecteur est placé dans le puits, bassin ou canal de rejet. Il permet de prélever automatiquement 24 échantillons dans la journée (un échantillon par heure). Parmi les échantillons « ayant vu » le rejet, le godet médian est analysé pour effectuer le contrôle réglementaire dit « à mi-rejet ».

Avant rejet, le réservoir T d'effluent radioactif est analysé. Le rejet est ensuite réalisé en ouvrant la vanne de réglage de débit de sorte à respecter la limite sur le débit d'activité (Bq/s), le facteur de prédilution et les activités volumiques à la station de mi-rejet (*cf.* fig. A7.4.2).

Fig. A7.4.2 ➜ Contrôle d'un rejet radioactif liquide d'un site marin ou estuarien



Annexe 7.5

Comptabilisation des activités rejetées

La réglementation relative aux INB, introduite en 1995 par le décret du 4 mai 1995, a créé de nouvelles catégories de radionucléides nécessitant de modifier le système de comptabilisation des effluents radioactifs.

Cette comptabilisation a été mise en application sur le site de Saint-Laurent en l'année 1999 ; elle est utilisée sur l'ensemble des centrales du parc nucléaire d'EDF depuis 2002.

L'ancienne comptabilisation s'appuyait, notamment pour les rejets gazeux, sur des indicateurs globaux (par exemple la mesure bêta gaz globale à la cheminée) ; elle ne permettait pas de distinguer les différents radionucléides entre eux.

La comptabilisation actuelle est fondée sur une analyse radionucléide par radionucléide et fait apparaître dorénavant, de manière explicite, les iodes dans les rejets liquides, le ^{14}C et le ^{63}Ni.

Ces règles s'appuient en premier lieu sur la définition de « spectres de référence », en fonction du type de rejet (liquide : réservoir T, réservoir Ex ; gazeux : rejets permanents et concertés BR et RS). Ces spectres consistent en une liste de radionucléides à identifier par les moyens de mesure adéquats. Toutes les substances figurant dans plus de 90 % des analyses figurent dans cette liste. Des radionucléides, présents à l'état de trace comme l'iode figurent également dans cette liste pour des raisons historiques.

La deuxième règle fondamentale consiste à déclarer obligatoirement une activité rejetée pour les radionucléides appartenant à ces différents « spectres de référence ». Les radionucléides dont l'activité mesurée est inférieure au seuil de décision donnent lieu à une activité rejetée déduite du seuil de décision.

En résumé :

- tous les radionucléides détectés sont systématiquement comptabilisés,
- certains radionucléides fréquents (dits appartenant au spectre de référence) sont comptabilisés au minimum détectable même s'ils n'ont pas été physiquement détecté.

Les règles de comptabilisation détaillées sont décrites dans le rapport « Nucléaire & environnement » faisant le bilan annuel des rejets des centrales nucléaires du parc EDF.

REJETS RADIOACTIFS GAZEUX

Il a été défini des « spectres de référence » pour chaque type de rejet en distinguant les rejets permanents des rejets concertés:

Gaz rares

- Pour les rejets permanents : ^{133}Xe et ^{135}Xe,
- Pour les rejets concertés type BR : ^{41}Ar, ^{133}Xe et ^{135}Xe,
- Pour les rejets concertés type RS : ^{85}Kr, ^{133}Xe et ^{131}mXe ajouté en 2002.

Iodes (ex. halogènes)

- À la cheminée pour l'ensemble des rejets : ^{131}I et ^{133}I.

Produits de fission ou d'activation émetteurs β/γ (ex ; Aérosols)

- À la cheminée pour l'ensemble des rejets : ^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs.

Tritium et carbone 14

- À la cheminée pour l'ensemble des rejets.

Nota : Si ces radionucléides ne sont pas détectés, ils sont néanmoins comptabilisés comme ayant une activité volumique égale au « seuil de décision ».

REJETS RADIOACTIFS LIQUIDES

Iodes

- Réservoir T : ^{131}I ,
- Réservoir Ex : l'iode 131 n'est pas comptabilisé si l'activité bêta globale mesurée préalablement au rejet est inférieure à la limite mentionnée dans l'arrêté et si l'analyse de l'échantillon aliquote mensuel ne met pas en évidence d'activité significative de ce radionucléide.

Autres radionucléides émetteurs β/γ :

- Réservoir T : ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{60}Co, ^{110m}Ag, ^{124}Sb, ^{134}Cs, ^{137}Cs plus le ^{123m}Te et le ^{125}Sb ajoutés en 2000 et le ^{63}Ni ajouté en 2002.
- Réservoir Ex : les radionucléides du spectre de référence ne sont pas comptabilisés si l'activité bêta globale mesurée préalablement au rejet est inférieure à la limite mentionnée dans l'arrêté et si l'analyse de l'échantillon aliquote mensuel ne met pas en évidence d'activité significative.

Tritium

- Réservoirs T : analyse avant rejet.
- Réservoir EX : analyse avant rejet et comptabilisation sur échantillon aliquote mensuel.

Carbone 14

- Réservoir T : sur chaque réservoir à partir de l'analyse d'un échantillon représentatif.

Nota : pour les réservoirs T, si Les radionucléides de référence ne sont pas détectés, ils sont néanmoins comptabilisés comme ayant une activité volumique égale au « seuil de décision ».

EMETTEURS ALPHA

d'origine artificielle dans les rejets liquides et gazeux

Le rejet d'émetteurs alpha d'origine artificielle est interdit. L'absence de radionucléides est déclarée dès lors que le résultat fourni par la mesure est inférieur à un seuil dit de décision fixé dans la réglementation. Ces seuils garantissent, dans le cas le plus pénalisant, un impact dosimétrique potentiel faible vis-à-vis du public (groupes de référence) par rapport aux autres rejets.

Annexe 7.6

Fonctionnement d'un aéroréfrigérant

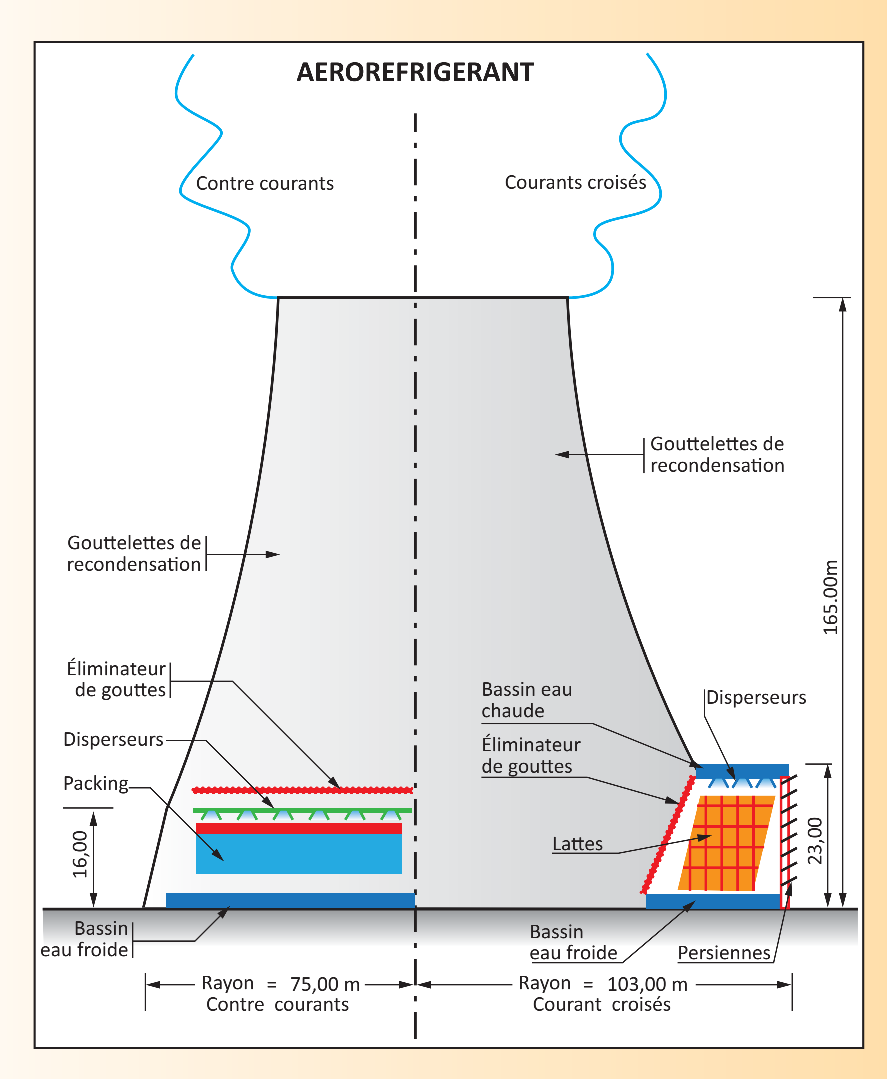
Les échangeurs utilisés par EDF dans les centrales nucléaires sont de type « humide ». L'échange de chaleur se fait par contact direct entre l'air ambiant et l'eau à refroidir. Dans ce corps d'échange, il se produit deux types d'échanges de chaleur :

- un échange par évaporation d'une partie de l'eau dans l'air (prélèvement de la chaleur latente de vaporisation),
- un échange par convection lié à la différence de température entre l'eau et l'air.

Dans un aéroréfrigérant, environ 75 % de la chaleur est évacué par évaporation, le restant par convection.

Trois sortes d'aéroréfrigérants sont utilisées dans les centrales refroidies en circuit fermé :

- **aéroréfrigérant à contre-courant**. Dans le corps d'échange de l'aéroréfrigérant, l'air circule par tirage naturel de bas en haut et l'eau à refroidir est dispersée dans un packing puis tombe en pluie pour être récupérée dans le bassin d'eau froide (Bugey, Dampierre, Cruas, Civaux, Golfech, Belleville, Chooz, Nogent).
- **aéroréfrigérant à courant croisé**, l'air pénètre horizontalement dans la partie basse de la tour (persienne) et croise l'eau à refroidir qui ruisselle sur un lit de lattes (Cattenom, St-Laurent).
- **aéroréfrigérant à ventilation forcée** ; lorsqu'il n'est pas possible de construire de tours de grande hauteur (paysage), il est nécessaire de recourir à un tirage forcé au moyens de puissants ventilateurs (Chinon).





Annexe 7.7

Limites de rejets thermiques des centrales EDF

Sites de rivière

Limites à respecter en valeurs moyennes journalières sauf prescriptions particulières des autorisations de rejet (cf. §5.3).

Cours d'eau	Centrale	Echauffement(0) °C	$T°_{rejet}$ °C	$T°_{aval}$ °C	Référence des autorisations de rejet
Loire	Belleville	≤ 1(1)	-	-	Arrêté ministériel du 8/11/2000
	Dampierre	≤ 1(1)	-	-	Décisions ASN n° 2011-DC-0210 & n° 2011-DC-0211
	Chinon	≤ 1(1)	-	-	Arrêté min. du 20/05/2003 modifié par l'arrêté du 17/08/2005
	St-Laurent	≤ 1(1)	-	-	Décisions ASN n° 2010-DC-0182 & n° 2010-DC-0183

(0) Échauffement = $T°_{aval} – T°_{amont}$;(1) Porté à 1,5 °C si le débit de la Loire est inférieur à 100 m^3/s et si la température de la Loire à l'amont est inférieure à 15 °C.

Cours d'eau	Centrale	Échauffement(0) °C	$T°_{rejet}$ °C	$T°_{aval}$ °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Vienne	Civaux	≤ 2(1)	-	≤ 25(1)	-	Décisions ASN n° 2009-DC-0139 & n° 2009-DC-0138
		≤ 0(2)	-	≤ $T°_{amont}$	-	
		≤ 1(3)	-	≤ 28	-	
		≤ 3(4)		≤ 25(4)	Étiage exc. d'hiver du 01/11 au 30/04	

(0) Échauffement = $T°_{aval} – T°_{amont}$; (1) Si $T°_{amont}$ < 25 °C ; (2) si $T°_{amon}$t ≥ 25 °C et si aéroréfrigérant des purges disponible ; (3) si T° amont ≥ 25 et si indisponibilité fortuite de l'aéroréfrigérant des purges et sous conditions particulières ; (4) après accord du directeur général de l'ASN.

Cours d'eau	Centrale	Échauffement(0) °C	$T°_{rejet}$ °C	$T°_{aval}$ °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Rhône	Bugey	≤ 5,5	≤ 34	≤ 24(1)	Du 01/07 au 15/09	Arrêté préfectoral du 18/12/1995
		≤ 7,5	≤ 30	≤ 24(1)	Du 16/09 au 30/06	Arrêté ministériel du 11/06/2004
	St-Alban	≤ 3	-	-	Du 01/06 au 30/09	Arrêté ministériel du 29/12/2000
		≤ 4			Du 01/10 au 31/05	
	Cruas	≤ 1	-	-	-	Arrêté ministériel du 07/11/2003
Rhône Canal de Donzère-Mondragon	Tricastin	≤ 4(2)	-	≤ 28	-	Décisions ASN n° 2008-DC-0102 & n° 2008-DC-0101
		≤ 6(3)	-	≤ 28		
		≤ 3	-	≤ 29	Cas exceptionnel	

(0) Échauffement = $T°_{aval} – T°_{amont}$; (1) Portée à 26 °C dans la limite de 35 jours entre le 01/06 et le 30/09 ; (2) si débit canal ≥ 480 m^3/s ; (3) si débit du canal < 480 m^3/s.

Cours d'eau	Centrale	Échauffement (0) °C	$T°_{rejet}$ °C	$T°_{aval}$ °C	Référence des autorisations de rejet
Moselle Retenue du Mirgenbach	Cattenom	≤ 1,5	≤ 28(1)	-	Arrêté ministériel du 23/06/2004
			≤ $T°_{amont}$(2)	-	
			Rejets interdits (3)	-	

(0) Échauffement = $T°_{aval} – T°_{amont}$; (1) $T°_{Moselle\ amont}$ < 28 °C ; (2) 28 °C < $T°_{Moselle\ amont}$ < 30 °C) ; (3) $T°_{Moselle\ amont}$ ≥ 30 °C.

Cours d'eau	Centrale	Échauffement (0) °C	T°$_{rejet}$ °C	T°$_{aval}$ °C	Référence des autorisations de rejet
Meuse	Chooz	≤ 3(1)	-	≤ 28(1)	Décisions ASN n° 2009-DC-0165 & n° 2009-DC-0164

(0) Échauffement = T°$_{aval}$ – T°$_{amont}$; (1) (5 jours par an du 1/05 au 30/09) si T°$_{amont}$ ≥ 26 °C, Ech ≤2 °C ; si T°$_{amont}$ ≥ 26 °C, T°$_{aval}$ <30 °C.

T° canal amont)	Centrale	Échauffement (1) °C	T°$_{rejet}$ °C	T°$_{aval}$ °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Rhin Grand Canal d'Alsace	Fessenheim	≤ 7	-	≤ 30	Du 01/12 au 28/02	Arrêté préfectoral du 26/05/1972
		≤ 6,5	-	≤ 30	Du 01/09au30/11 et du 01/03au 31/05	
		≤ 4	-	≤ 30	Du 01/06 au 31/08	

(0) Échauffement = T°$_{rejet}$ – T°$_{canal\ amont}$.

Cours d'eau	Centrale	Échauffement (0) °C	T°$_{rejet}$ °C	T°$_{aval}$ °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Seine	Nogent	≤ 3(1)	-	≤ 28		Arrêté ministériel du 29/12/2004
		≤ 1,5	-	≤ 30(2)	Cas exceptionnel	

(0) Échauffement = T°$_{aval}$ – T°$_{amont}$; (1) Si débit Seine < 20 m^3/s Ech ≤ 4 °C du 1/11 au 28/02 ; (2) autorisé 2 % du temps sur une année calendaire en situation climatique exceptionnelle et sous conditions particulières.

Cours d'eau	Centrale	Échauffement (0) °C	T°$_{rejet}$ °C	T°$_{aval}$ °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Garonne	Golfech	≤ 1,25	-	≤ 28	De 01/06 au 30/09	Arrêté ministériel du 18/09/2006
		≤ 2	-	≤ 28	Du 01/10 au 31/05	
		≤ 1,25	-	≤ 30(1)	Cas exceptionnel	

(0) Échauffement = T°$_{aval}$ – T°$_{amont}$, (1) conditionné aux besoins du réseau électrique.

Site sur estuaire assimilé à un site marin

Cours d'eau	Centrale	Échauffement (0) °C	T°$_{rejet}$ °C	T°$_{aval}$ °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Gironde	Blayais	≤ 11	≤ 36,5	≤ 30	Du 16/05 au 15/10	Arrêté ministériel du 18/09/2003
		≤ 11	≤ 30	≤ 30	Du 16/10 au 15/05	

(0) Échauffement = T°$_{rejet}$ - T°$_{amont}$.

Sites marins

Mer	Centrale	Echauffement(0) °C	T°$_{rejet}$ max °C	T°$_{aval}$ max °C	Période	Référence des autorisations de rejet
Manche	Flamanville (Unités 1 et 2)	≤ 15	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Décisions ASN n° 2010-DC-0188 & n° 2010-DC-0189
		≤ 15	≤30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
		≤ 21	-	-	Situation particulière(1)	
	Après mise en service de l'unité 3 (EPR)					
	Flamanville 1-2	≤ 15	≤ 35		Du 01/06 au 31/10	Décisions ASN n° 2010-DC-0188 & n° 2010-DC-0189
		≤ 15	≤30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
	Flamanville 3 (EPR)	≤ 14	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	
		≤ 14	≤30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
	Flamanville 1-2-3 (EPR)	≤ 21			Situation particulière(1)	
	Paluel	≤ 15	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Arrêté ministériel du 11/05/2000
		≤ 15	≤30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
		≤ 21	-		Situation particulière(1)	
	Penly	≤ 15	≤ 35	≤ 30	Du 01/06 au 31/10	Décisions ASN n° 2008-DC-0090 & n° 2008-DC-0089
		≤ 15	≤ 30	≤ 30	Du 1/11 au 31/05	
		≤ 21			Situation particulière(1)	
Mer du Nord	Gravelines	≤ 12	≤ 35	≤ 30	-	Arrêté ministériel du 07/11/2003
		≤ 12	≤30	≤ 30	-	

(0) Échauffement = T°$_{rejet}$ – T°$_{prise\ d'eau}$; (1) exemples : indisponibilité d'une pompe de circulation alimentant les condenseurs ; nettoyage de la station de pompage…

Annexe 7.8

Exemples de limites thermiques en Europe (2008)

Centrales fluviales

Pays	Centrale	Type de refroidissement	Limites	Contrôles par l'exploitant
Allemagne	ISAR Centrale 1 (BWR) Cours d'eau Isar	Circuit OUVERT	$\Delta T_{amont\text{-}aval}$ après mélange ≤ 3 à 5 °C[1]	Mesure de T° en continu sur l'eau de l'Isar prélevée et rejetée
	ISAR Centrale 2 (PWR) Cours d'eau Isar	Circuit FERMÉ		
	PHILIPSBURG Cours d'eau Rhin	Circuit FERMÉ	$T°_{Aval}$ ≤ 28 °C et ΔT ≤ 3 °C	/
Belgique	THIANGE Cours d'eau Meuse	Tr 1 : Circuit OUVERT ou Circuit FERMÉ	$T°_{Aval}$ ≤ 28 °C (29 °C avec dérogation) et $\Delta T_{amont\text{-}aval\ après\ mélange}$ ≤ 4 ou 5 °C	Mesure de T° en continu sur les eaux de refroidissement aux points de déversement et dans le canal d'amenée Centrale reliée au réseau régional de télésurveillance des eaux (mesures T°)
		Tr 2-3 : Circuit FERMÉ		
Espagne	TRILLO Cours d'eau Tage	Circuit FERMÉ	$\Delta T_{amont\text{-}aval\ après\ mélange}$ ≤ 3 °C et $T°_{Aval}$ ≤ 30 °C	Mesure de T° en continu sur les eaux de refroidissement prélevées et rejetées et sur l'eau du Tage au point de rejet après mélange
Suisse	BEZNAU Cours d'eau Aar	Circuit OUVERT	$T°_{Rejet}$ ≤ 33 °C et $\Delta T_{amont\text{-}aval\ après\ mélange}$ ≤ 3 °C	Mesure de T° en continu sur l'eau prélevée et rejetée

Centrales marines

Pays	Centrale	Type de refroidissement	Limites	Contrôles par l'exploitant
Royaume-Uni	SIZEWELL B	Circuit OUVERT	$\Delta T_{rejet\text{-}prise}$ ≤ 10 °C et $T°_{Rejet}$ ≤ 45 °C	Mesure de T° en continu sur l'eau de mer prélevée et rejetée Études à la charge de l'exploitant dans la zone de rejet, 3 et 7 ans après le démarrage (tache thermique et impact sur le milieu benthique)
Suède	RINGHALS Tr 1 à 4	Circuit OUVERT	$\Delta T_{rejet\text{-}prise}$ ≤ 10 °C[1]	Mesure de T° en continu sur l'eau de mer prélevée et rejetée

1. Plus, suivant les centrales, d'autres contraintes portant sur la température des eaux de refroidissement et l'apport thermique global.

Centrales en estuaire

PAYS	CENTRALE	TYPE DE REFROIDISSEMENT	LIMITES	CONTRÔLES PAR L'EXPLOITANT
Allemagne	BROKDORF Estuaire de l'Elbe	Circuit OUVERT	$T°_{Rejet}$ ≤ 33 °C (moyenne sur une heure)	Mesure de T° en continu sur l'eau prélevée et rejetée
Belgique	DOEL Estuaire de l'Escaut	Tr 1-2 Circuit OUVERT Tr 3-4 Circuit FERMÉ	$T°_{Rejet}$ ≤ 33 °C 32 °C (moyenne journalière) 30 °C (moyenne sur 30 jours)	Mesure de T° en continu sur les eaux de refroidissement au niveau de l'ouvrage général de rejet

La réglementation des rejets thermiques des pays européens est, comme en France, fondée sur la Directive européenne de 1978 codifiée par la directive européenne 2006/44/CE. Les limites imposées aux centrales nucléaires européennes sont semblables à celles appliquées aux installations EDF.



©EDF – Merat Pierre

1. Valable pour tous les sites côtiers suédois.





8 Maîtrise des impacts des prélèvements d'eau et des rejets

1. Cadre général et étude d'impact

Longtemps, les préoccupations de protection de l'environnement se sont focalisées sur la santé humaine. Ainsi dès le XIXe siècle, la réglementation relative aux installations insalubres et incommodes répondait à l'objectif de protéger la santé, la sécurité et la salubrité publique. Depuis les années 1960, les objectifs de la protection environnementale se sont étendus aux milieux naturels et aux espèces qui les peuplent (lois sur l'air, sur l'eau, sur la protection de la nature…).

Les exploitants de centrales nucléaires sont donc tenus de considérer les exigences sanitaires et environnementales applicables à leurs activités (normes de base en radioprotection, normes environnementales, réglementation relative aux INB et aux ICPE…). S'agissant des rejets radioactifs, la protection l'environnement s'est longtemps trouvée réduite au seul objectif de protéger l'homme contre les effets de la radioactivité. Le besoin de protéger l'environnement en tant que tel est récent. Ce n'est qu'au début des années 2000 que la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) a défini un cadre pour protéger les organismes vivants non humains à l'image de ce qui est réalisé pour l'homme. Cette démarche est dorénavant utilisée dans les études d'impact des centrales nucléaires (*cf.* §2.2).

Avant d'engager la construction d'une centrale nucléaire, une étude d'impact environnemental est réalisée ; il s'agit d'une obligation légale[1] pour tout projet de grande envergure. Cette étude s'intéresse à toutes les phases du projet, depuis le stade du chantier jusqu'à la déconstruction. Elle décrit notamment les caractéristiques du milieu naturel pressenti et évalue les effets possibles des futures installations sur les écosystèmes, le paysage, la santé des populations avoisinantes ainsi que la vie économique locale. Le cas échéant, elle propose les mesures conservatoires et/ou compensatoires pour limiter, voire éviter, les effets négatifs du projet. Le contenu des études d'impact a été rénové en 2011[2] (*cf.* encart).

Lorsque la centrale est en exploitation, un programme de surveillance de l'environnement – portant également sur des zones non influencées par la centrale – est mis en place conformément à la réglementation. Cette surveillance vise à vérifier que l'impact de la centrale reste dans les limites de l'étude initiale ayant conditionné l'autorisation de fonctionnement des installations.

Afin de minimiser cet impact, l'exploitant ne se contente pas de respecter les limites réglementaires en toute circonstance, il agit pour réduire, autant que raisonnablement possible, les prélèvements d'eau et les rejets, en vertu du principe d'optimisation (*cf.* §5). Ce faisant, les données collectées depuis plusieurs décennies montrent que les écosystèmes au voisinage des installations présentent des évolutions temporelles ayant des causes naturelles (réchauffement climatique) ou artificielles (autres industries ou activités) indépendantes du fonctionnement des centrales.

Nota :

Pour une bonne compréhension, ce chapitre est présenté en distinguant :

- *les conséquences des rejets et des prélèvements d'eau sur les écosystèmes terrestre et aquatique (faune et flore),*
- *l'effet des rejets atmosphériques et liquides sur le public vivant à proximité de la centrale.*

Ne sont abordés ici que les impacts liés aux prélèvements d'eau et à aux rejets d'effluents d'une centrale nucléaire en exploitation. Les phases de chantier et de déconstruction ne sont pas traitées.



1. Loi 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature, notamment (*cf.* chapitre 3).
2. Décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagement (article R.122-4 du Code de l'environnement).

Étude d'impact pour les INB

(Article R122-4 du code de l'environnement et article 9 du décret du 2 novembre 2007)

L'étude d'impact constitue une pièce essentielle du dossier de demande d'autorisation qui doit permettre aux différentes parties prenantes (autorités compétentes, administration, associations, public) d'apprécier l'impact des installations sur la santé humaine et l'environnement. C'est sur la base de cette étude, et après avis récoltés lors des consultations locales, que l'ASN fixe des prescriptions aux exploitants notamment en termes de limites de rejets et de modalités de surveillance de l'environnement.

L'étude d'impact doit notamment présenter :

- une analyse de l'état initial de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet (population, faune, flore, habitats naturels, sites et paysages, biens matériels, continuités écologiques, équilibres biologiques, facteurs climatiques, sol, eau, air, bruit…, ainsi que les interrelations entre ces éléments),
- une analyse des effets négatifs et positifs, directs et indirects, temporaires (y compris pendant une phase de travaux) et permanents, à court, moyen et long terme du projet,
- une analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus.

L'étude doit aussi décrire les mesures prises par l'exploitant pour :

- éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine et réduire les effets n'ayant pu être évités,
- compenser lorsque cela est possible, les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être suffisamment réduits.

Par ailleurs, l'exploitant d'INB doit (Art. 9 du décret du 2 novembre 2007) :

- décrire les moyens de contrôle des rejets et de surveillance de l'environnement,
- évaluer l'exposition du public aux rayonnements ionisants du fait de l'installation, en prenant en compte l'irradiation directe par les bâtiments et celle par les différents vecteurs (rejets liquides et gazeux, chaîne alimentaire),
- évaluer l'incidence de son installation sur l'environnement et, en particulier, justifier la compatibilité de celle-ci avec les SDAGE et les SAGE.

Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, l'importance et la nature des travaux, ouvrages et aménagements projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine (article R. 122-5 du Code de l'environnement).

2. Nature des impacts d'une centrale nucléaire sur son environnement

2.1 Impacts des prises d'eau

Sur certains organismes vivants (poissons, juvéniles, crustacés…)

Sur les installations refroidies en circuit ouvert, en mer, en estuaire ou en rivière, les forts débits de prélèvement d'eau peuvent provoquer l'aspiration d'organismes vivants dans les stations de pompage.

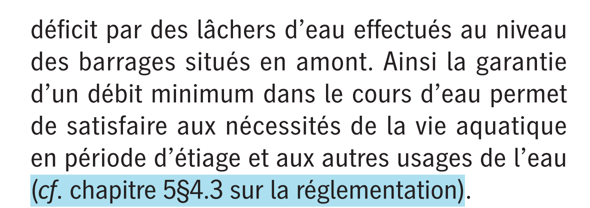
Sur la migration des poissons

Les seuils construits à l'aval de la prise d'eau créent un obstacle pouvant s'opposer à la migration des poissons. Des moyens sont mis en œuvre pour réduire les impacts des prises d'eau sur les poissons (*cf.* § 5.2)

Sur les débits du cours d'eau en période d'étiage

Sur les installations refroidies en circuits fermés en bord de rivière, 20 à 40% de l'eau prélevée s'évapore dans les aéroréfrigérants. Pour éviter que le débit du cours d'eau ne descende trop bas en période étiage, certains sites sont tenus réglementairement de garantir un débit minimum à l'aval du site (débit réservé[1]) en réduisant les volumes d'eau consommée ou en compensant le

1. Débit réservé = 1/10e au minimum du débit annuel (module) moyen interannuel (MMI) si le MMI est < à 80 m^3/s ; débit réservé = 1/20e au minimum du MMI si le MMI est > à 80 m^3/s.



déficit par des lâchers d'eau effectués au niveau des barrages situés en amont. Ainsi la garantie d'un débit minimum dans le cours d'eau permet de satisfaire aux nécessités de la vie aquatique en période d'étiage et aux autres usages de l'eau (*cf.* chapitre 5§4.3 sur la réglementation).

Aspiration d'organismes vivants dans les prises d'eau

Le piégeage des organismes vivants dans les prises d'eau concerne :

- des organismes ayant de faibles capacités natatoires soit du fait de leur petite taille (plancton, alevins) ou de leur morphologie (méduses) qui ne peuvent lutter contre le courant d'aspiration,
- des organismes dont le comportement les entraîne dans la prise d'eau (saumons de dévalaison) ou qui ne savent réagir face à un courant (certains poissons marins).

Les organismes dont la taille est supérieure à la maille des tambours filtrants (3 à 5 mm) tels que les juvéniles de hareng, le sprat, l'alose, sont plaqués sur les tamis, soumis à la pression de l'eau, exondés pendant plusieurs minutes puis décollés par les jets de nettoyage des filtres avant d'être rejetés au milieu aquatique *via* les ouvrages de rejet.

Les organismes de petite taille (plancton, larves, œufs) traversent le filtre et transitent dans les circuits de refroidissement où ils subissent différents chocs (mécanique, thermique, chimique) qui en détruisent une fraction plus ou moins importante selon la sensibilité des espèces rencontrées.

2.2 Impacts des rejets radioactifs liquides et gazeux sur les écosystèmes

Les radionucléides rejetés par les centrales nucléaires en fonctionnement normal sont de différentes natures : gaz rares, halogènes, poussières, sels dissous dans l'eau, colloïdes en suspension dans l'eau... Le devenir des substances radioactives rejetées dans les écosystèmes terrestre (végétaux, sols…) et aquatique (sédiments, poissons, végétaux…) va dépendre de leurs propriétés chimiques.

Le tritium et le carbone 14 sont les deux principaux radionucléides rejetés par une centrale nucléaire, les rejets des autres radionucléides ayant pu être fortement réduits grâce à l'efficacité des moyens de traitement et aux efforts réalisés par l'exploitant pour réduire la production d'effluents à la source (*cf.* §5). Le tritium et le carbone 14 sont aussi produits dans la nature (*cf.* encart au §3.1). Dans l'environnement, le comportement de ces deux radionucléides est particulier puisqu'ils suivent l'un et l'autre des cycles majeurs de la biosphère et de la géosphère ; le cycle de l'eau pour le tritium, le cycle du carbone pour le carbone 14. L'hydrogène (forme chimique du tritium) et le carbone sont aussi deux constituants majeurs de la matière vivante. Par ailleurs, le tritium et le carbone 14 ont été émis en grande quantité lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires entre 1950 et 1980.

Travaux de recherche internationaux relatifs à l'évaluation du risque environnemental associé aux radionucléides

Un important changement est survenu au début des années 2000 dans la façon d'appréhender la protection de l'environnement contre les effets de la radioactivité. Longtemps, l'environnement n'était considéré que comme un simple vecteur de transfert de la contamination vers l'homme ; la protection de celui-ci s'est donc trouvée réduite au seul objectif de protéger l'homme.

Ainsi, la Commission internationale contre les rayonnements ionisants (CIPR) considérait en 1990 dans sa publication n° 60 que : « *le niveau de maîtrise de l'environnement nécessaire pour protéger l'homme à un degré estimé aujourd'hui comme valable permettra aux autres espèces de ne pas être en danger… Pour le moment, la Commission ne s'intéresse à l'environnement que comme vecteur des radionucléides vers l'homme* ».

Mais, le besoin de protéger l'environnement en tant que tel a conduit la CIPR à revenir sur ce postulat au début des années 2000. Dans sa publication n° 91, elle préconise le développement d'une méthodologie d'évaluation des risques pour les organismes vivants d'origines animale et végétale comparable à celle utilisée pour l'homme ; ces principes ont été repris dans les publications n° 103 et n° 108 de la CIPR (*cf.* annexe 8.1).

Dans ce contexte, de nombreux travaux de recherche internationaux ont été menés depuis les années 2000 et se poursuivent sur le sujet (projets européens ERICA et PROTECT…). Ils visent à définir un ensemble d'animaux et de plantes de référence et à constituer, pour ces entités, des bases de données spécifiques.

S'agissant du **tritium**, le niveau d'activité moyen présent dans les végétaux, les animaux et les produits agricoles fluctue peu selon la géographie (0,5 à 3 Bq/kg frais dans les végétaux et denrées alimentaires). Dans le milieu terrestre, l'influence des rejets de tritium gazeux des centrales nucléaires n'est généralement pas perceptible par la mesure. Dans les cours d'eau, les activités volumiques en tritium sont variables dans le

temps et dans l'espace en fonction notamment des débits des rivières et des rejets des installations nucléaires (10 à 100 Bq/L).

Dans l'atmosphère, le **carbone 14** peut se trouver sous la forme de carbone minéral (CO_2) ou de composés organiques (CH_4). Les végétaux incorporent par photosynthèse le carbone présent dans l'air sous forme de gaz carbonique (CO_2) et fabriquent leur matière organique. Les herbivores incorporent les végétaux par ingestion et les carnivores à leur tour ingèrent le carbone de leur alimentation. Le carbone devient ainsi partie intégrante de tous les organismes vivants. Dans les végétaux situés dans la zone influencée par les rejets, il est parfois mesuré du carbone 14 dû aux rejets. Dans le milieu aquatique, le carbone 14 se trouve sous forme de gaz carbonique dissous, de carbonates et bicarbonates. Les voies de transfert du carbone 14 aux végétaux et aux animaux (poissons…) sont semblables à ceux du milieu terrestre. L'influence des rejets de carbone 14 est observée dans les poissons et végétaux situés en aval de la centrale.

L'évolution des niveaux de radioactivité dans les écosystèmes à proximité d'une centrale nucléaire est étudiée par les campagnes de mesures radioécologiques (*cf.* §3.1).

2.3 Impacts des rejets liquides chimiques sur l'environnement

L'impact des substances chimiques rejetées par une centrale nucléaire sur le milieu aquatique dépend de :
- la concentration ajoutée au milieu par les rejets,
- la toxicité de la substance considérée vis-à-vis des végétaux et des animaux,
- la sensibilité du milieu aquatique (rivière, estuaire, mer).

Si la substance rejetée est déjà présente à l'amont de la centrale, sa concentration dans le milieu doit être prise en compte pour l'évaluation de l'impact. Cette valeur « amont » est additionnée à la concentration ajoutée par les rejets pour les calculs d'évaluation.

Acide borique[1] (bore)

L'acide borique (H_3BO_3 ou $B(OH)_3$) en solutions diluées est un acide faible, pour des pH entre 7 et 8 il est très peu dissocié. Présent dans les rejets des centrales, il se mélange au milieu aquatique qui contient naturellement du bore sous forme d'acide borique non dissocié et de sels dissous (borates..).

Les normes de protection des écosystèmes aquatiques sont définies pour le bore sans préciser la forme physico-chimique sous laquelle il se trouve.

L'eau de mer contient des composés borés à des teneurs variant de 4 000 à 5 500 µg/L de bore. Dans les cours d'eau à l'amont des centrales nucléaires on peut mesurer des concentrations de bore comprises entre quelques µg/L à quelques dizaines de µg/L.

Les effets de ces composés sur la faune (poissons, crustacés) et la flore (algues) aquatiques peuvent se manifester à partir d'une concentration d'environ 1 000 µg/L en bore en cas d'exposition chronique (répétitive ou permanente) et de 30 000 à 500 000 µg/L en bore pour une exposition aiguë (quelques heures à quelques jours selon la durée de vie de l'espèce).

Les rejets **d'acide borique** des centrales nucléaires conduisent à augmenter les teneurs naturelles de bore de quelques µg/L en valeur moyenne sur l'année et, ponctuellement, de 1 000 µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes.

Les valeurs liées aux rejets sont inférieures à la norme provisoire relative à la qualité de l'eau douce (NQEp) proposée par une circulaire du 7 mai 2007, à savoir : 218 µg/L en moyenne annuelle en plus du bruit de fond naturel.

Hydrazine

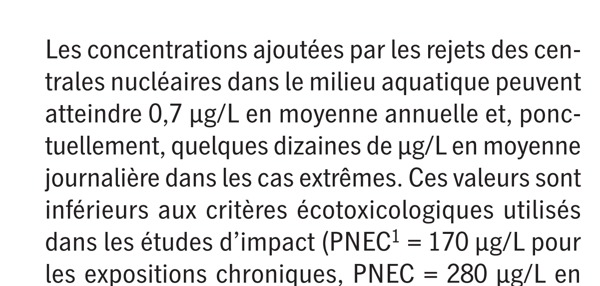
L'hydrate d'hydrazine est un composé chimique liquide d'apparence semblable à l'eau, avec une odeur rappelant celle de l'ammoniaque. Elle est miscible dans l'eau et se décompose rapidement dans l'air en formant de l'azote et de l'hydrogène. Dans le milieu aquatique, les effets délétères apparaissent à partir des concentrations de 2 µg/L pour les algues, 1 300 µg/L pour les crustacés et de 600 à 6 000 µg/L pour les poissons.

Les rejets des centrales nucléaires (quelques kilogrammes par an et par réacteur) ajoutent au milieu aquatique des concentrations n'excédant pas 0,1 µg/L en moyenne annuelle (ponctuellement quelques µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes).

Morpholine

La morpholine est un liquide incolore et volatil qui dégage une forte odeur de poisson (seuil olfactif 0,01 ppm ou 36 µg/m^3). Présente à de faibles teneurs dans les effluents (< 1 mg/L), la morpholine se décompose dans le milieu aquatique par l'action de certaines bactéries. La morpholine présente des effets néfastes sur les algues – très sensibles à la morpholine – à partir de concentrations supérieures à 1 000 µg/L.

1. 1 g d'acide borique H_3B0_3 contient 0,17 g de bore (B) : masse atomique B/ masse atomique H_3B0_3 = 10,8/(3+10,8+48) = 0,17).



Les concentrations ajoutées par les rejets des centrales nucléaires dans le milieu aquatique peuvent atteindre 0,7 µg/L en moyenne annuelle et, ponctuellement, quelques dizaines de µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes. Ces valeurs sont inférieurs aux critères écotoxicologiques utilisés dans les études d'impact (PNEC[1] = 170 µg/L pour les expositions chroniques, PNEC = 280 µg/L en exposition aiguë en eau douce).

Éthanolamine

L'éthanolamine est susceptible de provoquer des effets néfastes sur les algues à partir de concentrations supérieures à 1 000 µg/L.

L'éthanolamine est utilisée à la place de la morpholine depuis 2011. En rivière, les concentrations ajoutées dans le milieu aquatique n'excèdent pas 0,4 µg/L en moyenne annuelle et, ponctuellement, quelques dizaines de µg/L en moyenne journalière dans les cas extrêmes. Ces valeurs sont inférieures aux critères écotoxicologiques utilisés dans les études d'impact (PNEC = 160 µg/L tant pour les expositions chroniques que pour les expositions aiguës en eau douce).

Substances azotées (ammoniaque, nitrites et nitrates) ou phosphatées

La présence de nitrates et de nitrites dans l'environnement résulte :

- de la nitrification de l'ion ammonium (NH_4+) présent naturellement dans l'eau et le sol,
- des activités humaines (agriculture, industrie, stations d'épuration urbaines ou industrielles déficientes) qui conduisent à des rejets azotés (ammoniaque, nitrates et nitrites).

Les nitrates (NO_3) et les nitrites (NO_2) sont très solubles dans l'eau, ils migrent facilement dans les nappes souterraines. La toxicité des nitrates vis-à-vis des écosystèmes provient notamment de leur transformation (réduction) en nitrites.

Sur l'écosystème aquatique, les substances azotées et phosphatées peuvent avoir des effets sur la prolifération des végétaux aquatiques dans les cours d'eau (phénomène d'eutrophisation).

À titre d'exemple, les concentrations relatives aux rejets azotés et phosphatés sont présentées page suivante pour la centrale nucléaire de Dampierre (*cf.* tab. I).

1. PNEC : Predicted No Effect Concentration (concentration sans effet prévisible) INERIS, EDF R&D.

Phénomène d'eutrophisation d'un cours d'eau

L'eutrophisation désigne la production surabondante de végétaux aquatiques résultant d'un apport excessif de nutriments par des substances azotées et phosphatées. L'eutrophisation se décompose en plusieurs étapes :

- apports de nutriments en excès par les rejets de l'agriculture, de d'industrie et des stations d'épuration urbaines,
- multiplication rapide des végétaux aquatiques, en particulier prolifération d'algues (efflorescence algale ou *bloom*),
- perturbation de l'oxygénation de l'eau, sursaturation d'oxygène dissous le jour et sous-saturation la nuit.

Le développement de plantes flottantes – telles les lentilles d'eau – empêche le passage de la **lumière** dans les couches d'eau inférieures et gêne les échanges avec l'atmosphère ; des composés réducteurs et délétères (ammoniac, méthane) apparaissent alors dans le milieu aquatique pouvant provoquer la mort d'organismes vivants – insectes, crustacés, poissons, végétaux – dont la décomposition, consommatrice d'oxygène, amplifie le déséquilibre.



Eutrophisation d'un cours d'eau.



Tab. I Rejets azotés et phosphatés de la centrale nucléaire de Dampierre (4 unités de 900 MWe).

Centrale de Dampierre Substances issues des réservoirs T et Ex, du traitement biocide à la monochloramine et de la station d'épuration (STEP)(Source dossier « Art. 26 » nov. 2009)	Ammonium	Nitrates	Nitrites	Phosphates
Concentration moyenne en Loire à l'amont de la centrale µg/L	40	8 440	30	120
Concentration **maximale ajoutée** du fait des rejets µg/L	50	550	60	40
Concentration **maximale cumulée en Loire du fait des teneurs amont et des rejets** µg/L	90	8 990	90	160
Seuils du bon état écologique du milieu aquatique en µg/L en **moyenne annuelle** (arrêté du 25/01/2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface)	500	50 000	< 300	500

***Nota :** Les concentrations de nitrites et de nitrates dans l'eau sont exprimées soit sous forme de nitrites (ou nitrates) par litre d'eau (µg/L), soit en équivalent d'azote (µg-N/L). Ainsi, 1 000 µg/L de NO_3 équivaut à 226 µg/L d'azote ; 1 000 µg/L de NO_2 équivaut à 304 µg/L d'azote.*

Composés chlorés ou bromés

En eau douce, les traitements biocides par chloration massive à l'eau de Javel (hypochlorite de sodium) réalisés occasionnellement sur les centrales refroidies en circuit fermé conduisent à des rejets de chlore résiduel. Pour limiter au maximum le rejet de chlore, qui possède un fort pouvoir oxydant, la procédure de traitement n'autorise l'ouverture de la purge du circuit que si la concentration de chlore résiduel libre est inférieure à 0,1 mg/L en équivalent Cl_2. À ce niveau, après dilution dans le milieu aquatique, le chlore résiduel libre n'est pas détectable.

Le traitement biocide à la monochloramine de certaines centrales refroidies en circuit fermé conduit à des rejets chlorés où le chlore est combiné (200 µg/L en chlore résiduel total CRT éq. Cl_2 dans le rejet) dont l'impact oxydant est minime du fait des faibles concentrations ajoutées au milieu (environ 20 µg/L en CRT éq. Cl_2).

Sur les sites marins, les composés oxydants bromés, résultant du traitement des circuits d'eau de mer à l'hypochlorite de sodium pour éliminer les salissures biologiques, décroissent fortement en quelques dizaines de minutes comme le montrent les analyses pratiquées dans les zones de rejet en mer (< 0,1mg/L à l'extrémité du point de rejet).

Composés organohalogénés

Les composés organohalogénés sont rejetés lors des traitements biocides à la monochloramine, des chlorations choc pratiquées occasionnellement sur les centrales refroidies en circuit fermé ou lors du traitement estival de l'eau de mer sur les sites marins (*cf.* chapitre 6 du guide). L'hypochlorite de sodium utilisé pour ces traitements est un composé qui réagit rapidement avec certains constituants de l'eau du milieu naturel (brome, ammoniaque et matières organiques).

En eau douce, l'hypochlorite de sodium réagit avec l'ammoniaque pour former des chloramines (NCl_3, $NHCl_2$, NH_2Cl). Avec les matières organiques, il forme des composés organohalogénés dénommés AOX. Parmi ceux-ci, on trouve notamment les trihalométhanes (THM). Ces derniers sont représentés essentiellement par le **chloroforme**.

Les concentrations maximales journalières ajoutées en AOX (hors THM) en aval des rejets sont de 35 µg/L équivalent Cl^- à Dampierre pendant la période de traitement (monochloramine ou chloration massive), pour une limite à ne pas dépasser de 50 µg/L équivalent Cl^- fixée dans les autorisations de rejet.

S'agissant des THM (chloroforme essentiellement) produits lors des chlorations massives, les concentrations maximales dans le milieu aquatique peuvent atteindre, à titre d'exemple, 2 µg/L à Dampierre, soit des valeurs inférieures au seuil à partir desquels des effets sont observables (NQE = 2,5 µg/L en moyenne annuelle, arrêté du 25/01/2010[1]).

En eau de mer, l'hypochlorite de sodium oxyde les bromures pour former des bromamines (NBr_3, $NHBr_2$, NH_2Br). Avec les matières organiques, il produit des organohalogénés bromés dont le plus abondant est le **bromoforme**. À Gravelines, dans l'hypothèse de six unités en régime de chloration, la concentration moyenne ajoutée THM dans l'eau de mer de refroidissement (essentiellement du bromoforme) atteint 27 µg/L ; ce qui correspond à 1,5 µg/L dans la zone côtière[2].

1. Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.
2. M. Khalanski, 2003. Organic products generated by the chlorination of cooling water at marine power stations. Tribune de l'Eau n° 619-620-621, pp. 24-29.



Métaux

Les rejets de métaux proviennent de l'usure des tubes en laiton de condenseurs ; il s'agit de cuivre et de zinc car le laiton est un alliage composé essentiellement de cuivre et de zinc (*cf.* chapitre 7 sur la nature et le contrôle des rejets). Ces rejets s'ajoutent aux métaux provenant d'autres apports anthropiques ou présents de façon naturelle dans l'eau des rivières. Ces métaux (sauf la partie dissoute) se retrouvent dans les sédiments des rivières, des estuaires et des zones côtières où ils se lient à des matériaux inorganiques et organiques.

Ce phénomène de dépôt dans les sédiments réduit la part de métal dissoute dans l'eau qui seule est susceptible d'agir sur les organismes vivants. Cette part dissoute, dont une partie est « biodisponible », est généralement évaluée en filtrant un échantillon d'eau au travers d'un filtre de 0,45 µm. Toutefois d'autres facteurs, comme notamment la température, la dureté de l'eau, le pH de l'eau, sont aussi déterminants pour évaluer la fraction réellement disponible du métal dissous.

Le **cuivre** est particulièrement toxique pour les champignons et les algues, c'est d'ailleurs pourquoi des composés à base de cuivre sont utilisés comme fongicides. La NQEp du cuivre (valeur moyenne annuelle) en phase dissoute définissant le bon état écologique des milieux aquatiques a été fixée à titre provisoire à 1,4 µg/L (arrêté du 25/01/10)[1]. Cette valeur peut être corrigée en fonction du bruit de fond géochimique et de la biodisponibilité. Avant le changement des condenseurs en laiton de la centrale de Nogent/Seine, la concentration moyenne en Seine à l'aval atteignait 10 µg/L en cuivre total sans que le programme de surveillance hydroécologique n'ait relevé de dégradation de la qualité biologique. Le cuivre dissous en Seine à 2 km en aval de la centrale atteignait 3,2 µg/L, mais une correction de la NQEp liée à la biodisponibilité peut être effectuée car les ions libres, la fraction la plus biodisponible et la plus toxique, ne représentent que 0,3 µg/L[2].

Pour le **zinc**, les concentrations à partir desquelles il est observé des effets sur l'écosystème aquatique sont égales à 50 µg/L de zinc dissous (soit environ à une valeur comprise entre 150 et 200 µg/L de zinc total). L'arrêté du 25/10/2010 définit une NQE de 7,8 µg/L en métal dissous, exprimé en moyenne annuelle, si la dureté de l'eau est supérieure à 24 mg$CaCO_3$/L. Cette valeur peut être corrigée en fonction du bruit de fond géochimique et de la biodisponibilité. En pratique, les teneurs en zinc dissous à l'aval des centrales équipées de condenseurs en cuivre restent inférieures à cette NQE.

Sur les centrales nucléaires équipées de condenseurs en laiton, les concentrations en cuivre et en zinc total ajoutées dans le cours d'eau sont d'environ 2 à 3 µg/L (ordre de grandeur en moyenne sur l'année).

Les rejets de cuivre et de zinc des centrales nucléaires équipées de condenseurs tubés en laiton ont fortement diminué du fait du remplacement des tubes en laiton par des tubes inusables en acier inoxydable ou en titane (*cf.* chapitre 7 sur la nature et le contrôle des rejets). Les centrales marines ne rejettent pas de cuivre ni de zinc car elles sont équipées à la conception de condenseurs tubés en titane compte tenu de l'agressivité de l'eau de mer vis-à-vis du laiton.

Sur les centrales refroidies en circuit fermé, la suppression des tubes en laiton n'a pas eu que des effets bénéfiques. La disparition de l'effet biocide du cuivre a entraîné le développement de micro-organismes pathogènes (amibes) contre lesquels des traitements chimiques ont dû être mis en œuvre (*cf.* chapitre 6 sur les prélèvements d'eau).

2.4 Impacts des rejets liquides thermiques.

Centrales en bord de cours d'eau

La température des cours d'eau est un des principaux facteurs biologiques qui agit sur le comportement des organismes vivants d'origine animale ou végétale. Ce paramètre est déterminé par les conditions météorologiques et le régime thermique du cours d'eau (*cf.* annexe 8.2). L'équilibre thermique peut être altéré par des aménagements (retenues d'eau, calibrage du lit mineur, ...) et par les rejets thermiques liés aux activités humaines.

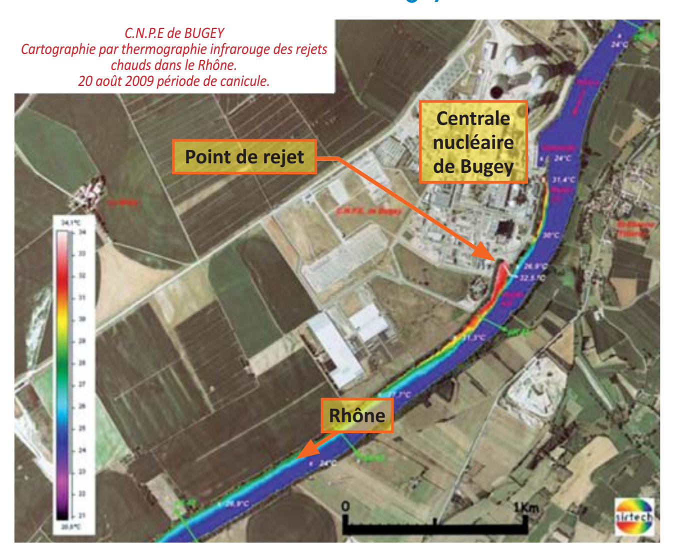
Sur le plan de la qualité de l'eau, la température joue aussi un rôle important dans la capacité des cours d'eau à dissoudre l'oxygène de l'air ambiant nécessaire à la vie aquatique. À la saturation, plus la température de l'eau est élevée, plus faible est la teneur en oxygène dissous. Une température élevée peut aussi entraîner la formation d'ammoniac gazeux toxique à partir de l'azote ammoniacal dissous dans l'eau.

Sur le plan biologique, les températures élevées (28 °C–30 °C) nuisent à la reproduction et le développement des poissons. Elles peuvent aussi réduire leur capacité à faire face aux maladies et aux parasites. *A contrario*, les algues ou végétaux aquatiques auront tendance à proliférer aux températures élevées.

1. Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.
2. Spéciation du cuivre en Seine le 18/11/1993. Données collectées par l'Institut de Biogéochimie Marine. ENS. Huang et Mouchel, 1995.

Pour les centrales nucléaires refroidies en **circuit ouvert**, installées sur des fleuves à grand débit, le rejet thermique se fait sur la rive afin d'effectuer un mélange progressif du rejet d'eau tiède sur plusieurs kilomètres. Ceci évite de créer sur la largeur du cours d'eau un « mur thermique » supérieur à quelques degrés d'amplitude pouvant faire obstacle à la migration des poissons. Ainsi, à la centrale du Bugey située sur le Haut-Rhône, la veine d'eau échauffée longe la rive droite (*cf.* fig. 1). Une modélisation tridimensionnelle de la température à l'aval révèle l'évolution de l'échauffement qui tend à s'homogénéiser après le confluent du Rhône et de l'Ain (*cf.* annexe 8.3).

Fig. 1 ➜ Diffusion des rejets thermiques à la centrale de Bugey



Avec les **circuits fermés**, les rejets thermiques entraînent des échauffements qui n'excèdent pas 1 °C. Des diffuseurs installés sur tout ou partie de la largeur de la rivière permettent aux eaux de rejet de se diluer très rapidement dans le cours d'eau (*cf.* fig. 2).

Centrales en bord de mer

En mer, les rejets thermiques subissent une forte dilution du fait des puissants courants marins : cas des centrales de Flamanville, Penly et Paluel où le rejet se fait au large. Dans ces cas, l'échauffement de l'eau de mer en surface après première dilution n'excède pas 1 °C dans une zone pouvant varier entre 1 à 20 km^2. Par ailleurs, l'eau tiède rejetée dans le fond marin remonte rapidement en surface par convection, ce qui réduit l'influence des rejets sur les organismes vivant au fond de la mer (*cf.* fig. 3).

À Gravelines, le rejet s'effectue à la côte par un long canal avec une dilution initiale moindre que sur les autres sites. L'eau échauffée se dirige alternativement vers l'est au flot et vers l'ouest au jusant et il existe aussi une stratification thermique, le fond étant moins échauffé que la surface. À pleine charge et en marée de vive-eau, le panache thermique limité par l'échauffement de 1°C en surface, balaie un demi-cercle de 6 à 7 km de rayon.

Fig. 2 ➜ Diffusion des rejets thermiques à la centrale de Golfech

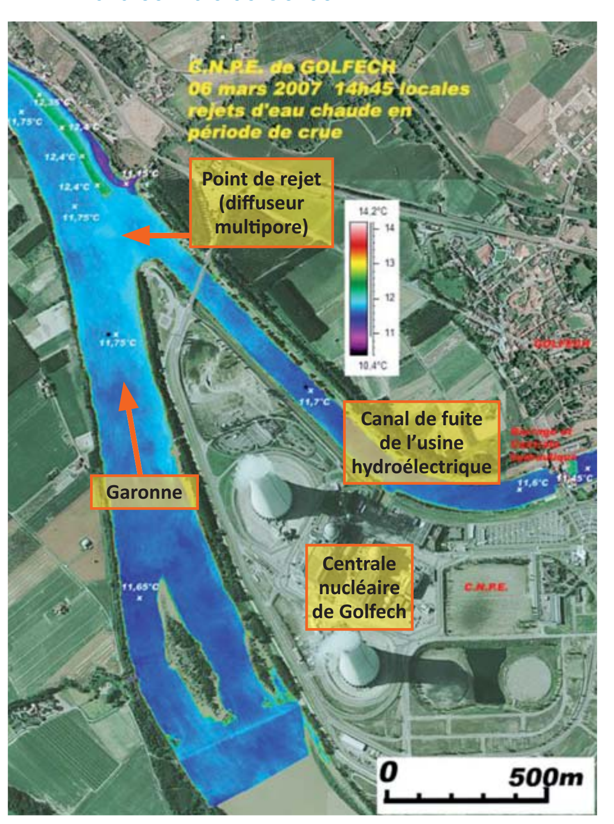
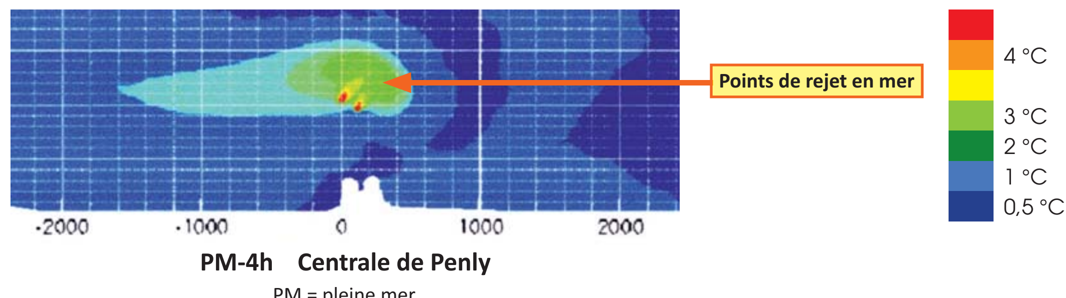


Fig. 3 ➜ Simulation des rejets thermiques de la centrale de Penly (2 unités de 1300 MWe). Code de calcul TELEMAC 3D



2.5 Impacts des rejets atmosphériques non radioactifs

Les rejets atmosphériques gazeux des centrales nucléaires (gaz d'échappement des moteurs diesel, turbine à combustion) sont faibles et épisodiques ; ils ne conduisent à aucun impact.

L'évaporation de l'eau dans les aéroréfrigérants donne lieu à la formation d'un panache de vapeur. Le développement du panache dans l'atmosphère dépend étroitement des conditions météorologiques. Sa longueur est en moyenne de 1,5 km ; elle peut s'accroître si la température est basse et l'humidité de l'air importante.

De nombreuses études ont été menées pour mesurer l'influence du panache sur le climat local, et sur la formation des nuages (essais sur maquette, mesures dans le panache…). Le seul impact mesurable réside dans la réduction du degré d'ensoleillement (environ 5 % dans un rayon de 2 km autour de la centrale et 2 % jusqu'à 5 km).



Aéroréfrigérants : Centrale nucléaire de Nogent/Seine.

3. Évaluation des impacts des rejets sur l'environnement

L'impact des rejets d'une centrale nucléaire sur l'environnement est évalué tout d'abord à partir des contrôles effectués sur les rejets et dans l'environnement.

Mais ces mesures ne suffisent pas à évaluer l'impact à long terme des rejets sur les écosystèmes terrestre et aquatique. C'est la raison pour laquelle des campagnes de mesures saisonnières dites de radioécologie et d'hydroécologie sont réalisées chaque année depuis la mise en service des centrales dans des zones témoins et dans des zones plus ou moins affectées par les rejets. Des éléments des écosystèmes terrestre et aquatique sont ainsi sélectionnés pour leur représentativité (végétaux, zooplancton et phytoplancton, poissons, sédiments…). L'observation qualitative et quantitative des communautés d'organismes vivants et des facteurs caractérisant leurs habitats sur la longue durée nous renseigne sur **l'impact global** des rejets radioactifs, chimiques et thermiques.

Les données collectées par ces programmes de surveillance écologique permettent non seulement de vérifier les prévisions établies lors de l'étude d'impact initiale (point zéro), mais elles fournissent aussi de précieuses informations sur l'évolution à long terme des écosystèmes sous l'effet de facteurs naturels ou anthropiques indépendants du fonctionnement des centrales.

Importance des études et des programmes de surveillance écologique des centrales nucléaires

Dès le lancement du programme nucléaire français en 1973, les organismes publics de recherche ont été sollicités pour développer des études relatives aux rejets radioactifs et à l'impact des circuits de refroidissement sur la faune et la flore des milieux aquatiques. En complément des résultats des modèles thermiques ou de qualité d'eau développés à EDF R&D, les connaissances acquises par ces études ont alimenté les évaluations d'impact des sites de centrales.

Avant la mise en service des nouvelles centrales, des données écologiques ont été recueillies sur au moins deux années, puis la collecte des données a été poursuivie dans le cadre d'un programme réglementaire de surveillance de l'environnement. Il existe ainsi des séries de données portant maintenant sur trois décennies qui permettent non seulement de préciser l'impact écologique et radioécologique des centrales mais aussi d'identifier des dérives indépendantes du fonctionnement des centrales (tel le réchauffement climatique).

3.1 Campagnes de radioécologie

Organisation des campagnes de mesures

Le devenir des substances radioactives rejetées dans l'environnement par une centrale nucléaire est abordé par la **radioécologie**. Cette discipline étudie notamment le cheminement des radionucléides dans les écosystèmes terrestre et aquatique depuis leur point d'émission (cheminée ou tuyauterie de rejet) jusqu'à l'homme, notamment par le biais de la chaîne alimentaire. La radioécologie s'intéresse, par conséquent, aux voies dites de « transfert » atmosphérique, terrestre et aquatique de la radioactivité vers l'homme afin d'en évaluer son impact (*cf.* fig. 4).

Pour ce faire, la radioécologie nécessite un grand nombre de mesures pratiquées par campagnes dans les écosystèmes terrestre et aquatique au voisinage de la centrale nucléaire. Les campagnes de mesure de radioécologie comportent trois phases.

D'abord, un « **état de référence** » du niveau de radioactivité ambiant est obligatoirement établi avant la première mise en service d'une installation nucléaire (appelé point zéro radioécologique). Les échantillons choisis peuvent être regroupés en deux grandes familles :

- les éléments naturels intégrateurs de la radioactivité (bio-indicateurs), qu'ils soient ou non consommés par l'homme comme les mousses terrestres, le sol, les sédiments, les algues, les mollusques, les boues de décantation,
- les maillons des chaînes de transfert de radionucléides vers l'homme, tels que l'herbe, le lait, les grandes cultures, les légumes, les poissons, l'eau de boisson et d'irrigation.

Ensuite, chaque année, depuis 1992, une campagne de mesures est réalisée entre mai et octobre (période de l'année où la végétation est active). Ces campagnes dénommées « **suivis annuels radioécologiques** » comportent essentiellement des analyses par spectrométrie gamma qui permettent, avec un seul comptage, de détecter la plupart des radionucléides rejetés par une centrale nucléaire (iodes, césiums, cobalts, argent 110m…). Des mesures de tritium et de carbone 14 sur quelques échantillons sont progressivement introduites dans les suivis annuels.

Enfin, tous les dix ans, sont réalisés des bilans radioécologiques appelés **« bilans décennaux »**. Ces derniers complètent les suivis annuels en mettant l'accent sur des radionucléides à demi-vie longue, non détectés ou difficilement détectés en spectrométrie gamma, tels que le carbone 14, le tritium organique, l'iode 129, le technétium 99, le strontium 90 et les transuraniens (^{238}Pu, $^{239+240}$Pu, ^{241}Am…). Des méthodes de mesures particulières ont dû être développées pour pouvoir intégrer des mesures de l'activité en nickel 63 (émetteur bêta pur) dans les bilans décennaux. Ces bilans permettent de tirer la synthèse des suivis annuels, voire des bilans décennaux antérieurs afin d'apprécier, par rapport au « point zéro », l'évolution dans le temps de la radioactivité (**vision temporelle**).

Les campagnes de mesures radioécologiques sont organisées par zones géographiques (*cf.* fig. 5). Des synthèses annuelles réalisées par zone, et pour l'ensemble des zones, fournissent une appréciation spatiale des impacts (**vision spatiale**).

Fig. 4 ➜ Voies de transfert de la radioactivité vers l'homme

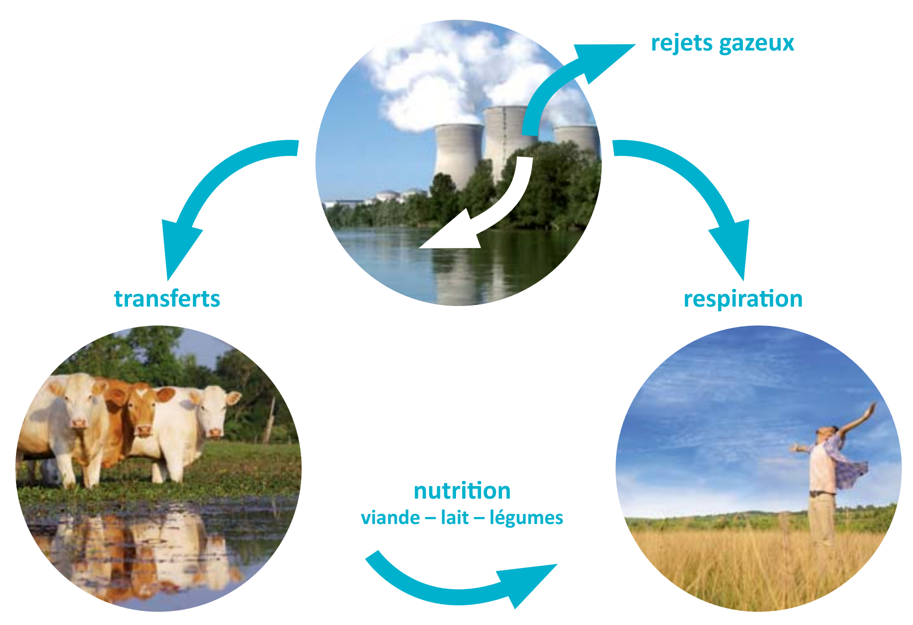


Fig 5 ➜ Regroupement géographique des campagnes de mesures radioécologiques



L'ensemble de ces mesures constituent une composante essentielle de la fonction « surveillance de l'environnement » des centrales nucléaires (*cf.* chapitre 9 sur la surveillance de l'environnement).

Résultats des campagnes de mesures radioécologiques

Depuis 1992, plusieurs milliers d'échantillons ont été prélevés dans les écosystèmes terrestre (sols, bryophytes[1] et lichens, légumes, fruits, céréales, eau de nappe, herbe, lait) et aquatique (sédiments, algues, bryophytes et phanérogames[2], poissons, mollusques et crustacés) au voisinage des centrales nucléaire d'EDF. En comparant les résultats d'analyse obtenus dans les zones exposées aux rejets avec ceux des zones non exposées, il est possible d'apprécier le marquage lié aux rejets radioactifs des centrales.

Écosystème terrestre

Les échantillons où des traces de radioactivité ont pu être décelées du fait des rejets radioactifs gazeux des centrales sont rares et ponctuels. Le cobalt 60 (demi-vie, 5 ans) et le manganèse 54 (demi-vie, 289 jours) ont été ponctuellement détectés sur des lichens et des bryophytes prélevés à proximité des sites marins, à des niveaux faibles (< 10 Bq/kg sec).

Dans la majorité des échantillons analysés (notamment des sols), seul le césium 137 (demi-vie, 30 ans) est présent. Ce radionucléide a pour origine les retombées des essais nucléaires aériens et l'accident de Tchernobyl. Dans la vallée du Rhône et à l'Est de la France, les niveaux d'activité de césium 137 sont plus élevés qu'ailleurs du fait des retombées de Tchernobyl. Dans les mousses, le niveau d'activité a atteint 3 000 Bq/kg sec en 1986 ; il est compris entre 0,5 et 20 Bq/kg sec en 2011. Dans les sols, l'activité peut atteindre 60 Bq/kg sec.

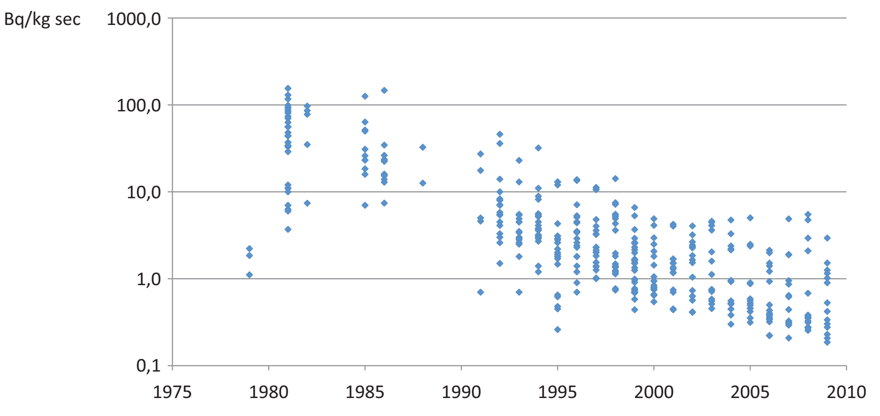
Écosystème aquatique marin

Les radionucléides les plus souvent détectés dans le milieu marin, au voisinage des centrales de Flamanville, Paluel, Gravelines et Penly, sont le césium 137, le cobalt 60 et l'argent 110m.

Le césium 137 est mesuré dans tous les compartiments de l'écosystème : sédiments (< 15 Bq/kg sec), algues, poissons, mollusques et crustacés (< 5 Bq/kg sec). Les activités en cobalt 60 dans les algues, mollusques et sédiments sont d'environ 15 à 20 Bq/kg sec. Quant à l'argent 110m, il n'est observé que dans le champ proche des rejets, en particulier dans les algues et les mollusques (environ 15 à 30 Bq/kg sec).

Le suivi dans le temps du niveau de radioactivité montre que la fréquence de détection et le niveau de radioactivité des émetteurs bêta/gamma, tel que le cobalt 60 – prépondérant dans les rejets liquides après le tritium et le carbone 14 – a baissé entre 1985 et 2009 dans le milieu marin du fait de la réduction des rejets (*cf.* fig. 6).

Fig. 6 ➜ Radioactivité massique en ^{60}Co dans les algues marines prélevées de 1979 à 2009 dans l'environnement aquatique proche des quatre centrales côtières (Flamanville, Penly, Paluel, Gravelines)



1. Bryophytes : type de mousse.
2. Phanérogames : plantes qui possèdent des fleurs et des graines.

Écosystème aquatique continental

La détection de radionucléides artificiels émetteurs « gamma » est plus marquée dans les cours d'eau que dans l'écosystème terrestre. Si la présence de cobalt 60 a pu être exceptionnellement décelée à l'amont de certaines centrales, le cobalt 60 a été mesuré dans 50 % des échantillons de sédiments et 40 % des échantillons de végétaux prélevés à l'aval des rejets. Dans les poissons, la présence de cobalt n'est détectée que dans 5 % des échantillons, à des niveaux faibles (quelques Bq/kg sec). Le niveau de radioactivité varie selon les lieux et les périodes de prélèvement. Mais ce niveau tend à diminuer depuis 1992.

3.2 Campagnes d'hydroécologie

L'écosystème des cours d'eau et ou de la mer (*cf.* fig. 8) évolue sous l'action conjuguée de plusieurs facteurs qu'ils soient d'origine naturelle (fortes crues, canicule, voire échauffement climatique) ou d'origine artificielle (modification morphologique du milieu liée à la construction d'ouvrages, rejets chimiques et thermiques liés aux activités humaines). Ces évolutions sont étudiées notamment grâce aux campagnes de mesures dites d'hydroécologie mises en place au voisinage de chaque centrale nucléaire (*cf.* chapitre 9 sur la surveillance de l'environnement).

Le Rhône

Morphologie

Le Rhône, né dans les glaciers alpins, se jette dans la Méditerranée. Long de 810 km, le Rhône est un fleuve à fort débit (le débit module interannuel est de 460 m^3/s à la confluence avec l'Ain, 1 500 m^3/s en amont du delta). Son régime thermique (évolution des températures sur plusieurs années) est fortement influencé par son passage dans le lac Léman et par ses affluents. C'est un fleuve dit à transfert thermique de l'amont vers l'aval. Il se distingue en cela des fleuves de plaine, comme la Seine, soumis aux conditions météorologiques locales (*cf.* annexe 8.2). Par ailleurs, le Rhône a été aménagé pour la navigation et la production d'électricité. La création de canaux, de retenues,

Fig. 8 ➜ Les bassins hydrographiques et les centrales nucléaires d'EDF





Carbone 14, tritium et autres radionucléides

Carbone 14 *(le carbone 14 est aussi produit dans la nature par l'action des neutrons cosmiques sur l'azote 14).*

Pour ce qui concerne **l'écosystème terrestre**, les campagnes de mesures montrent la faible influence des rejets gazeux de carbone 14. Les mesures sur les végétaux dans les zones influencées par les rejets révèlent une différence minime en moyenne de 2 à 3 % par rapport aux zones non influencées, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur des incertitudes de mesures.

S'agissant des **écosystèmes marin et fluvial**, on observe une influence des rejets de l'industrie nucléaire en général et des centrales nucléaires en particulier. Le long des côtes de la Manche, on observe une augmentation moyenne de l'activité massique en carbone 14 dans les poissons d'environ 50 % par rapport à l'activité naturelle. Dans les cours d'eau, l'élévation moyenne de concentrations dans les poissons est de 20 à 50 % entre l'amont et l'aval proche d'une centrale.

Tritium *(le tritium est aussi produit dans la nature par l'action des neutrons cosmiques sur l'azote 14).*

Dans l'environnement, la plus grande partie du tritium, isotope de l'hydrogène, se trouve sous forme d'eau tritiée liquide ou gazeuse (tritium libre). Il peut cependant être incorporé à la matière organique lors de la photosynthèse et *via* différents processus métaboliques chez les animaux. Ce tritium appelé tritium organique (ou tritium lié) peut ensuite, comme l'eau tritiée, être transféré aux autres compartiments de l'écosystème. La mesure du tritium lié à la matière organique des végétaux et des animaux permet d'avoir une information rétrospective sur l'activité moyenne en tritium de l'eau ou de l'air sur toute la période de formation de la matière organique, alors que la mesure du tritium libre fournit une valeur ponctuelle, image de la concentration dans l'eau ou dans l'air au moment du prélèvement.

Les mesures de tritium libre et de tritium organique réalisées sur les végétaux terrestres et aquatiques et sur les poissons montrent que le tritium ne se concentre pas dans la chaîne alimentaire. À l'équilibre, c'est-à-dire dans un environnement exposé à des rejets de tritium continus et constants, la concentration en tritium de tous les organismes vivants est au plus égale à l'activité spécifique en tritium du milieu (air ou eau) dans lequel ils vivent.

S'agissant de **l'écosystème terrestre**, l'influence des rejets de tritium gazeux des centrales nucléaires d'EDF n'est pas perceptible car les activités mesurées restent proches de celles de la vapeur d'eau atmosphérique hors influence industrielle. Ainsi, les activités en tritium libre dans le lait et les végétaux ne dépassent pas 3 à 4 Bq/L.

Dans **l'écosystème aquatique**, les rejets des centrales nucléaires d'EDF conduisent transitoirement à une augmentation de l'activité volumique en tritium qui est limitée par la réglementation. Dans les cours d'eau, en particulier en Loire et dans les rivières à faibles débits: Vienne, Meuse, Moselle, Seine, (*cf.* fig. 7), le tritium libre des poissons peut atteindre plusieurs dizaines de Bq/L si les prélèvements ont lieu lors du rejet d'un

Fig. 7 ➜ Activité volumique moyenne en tritium libre dans les poissons entre 2005 et 2009, en amont et en aval des centrales nucléaires d'EDF situées sur des cours d'eau

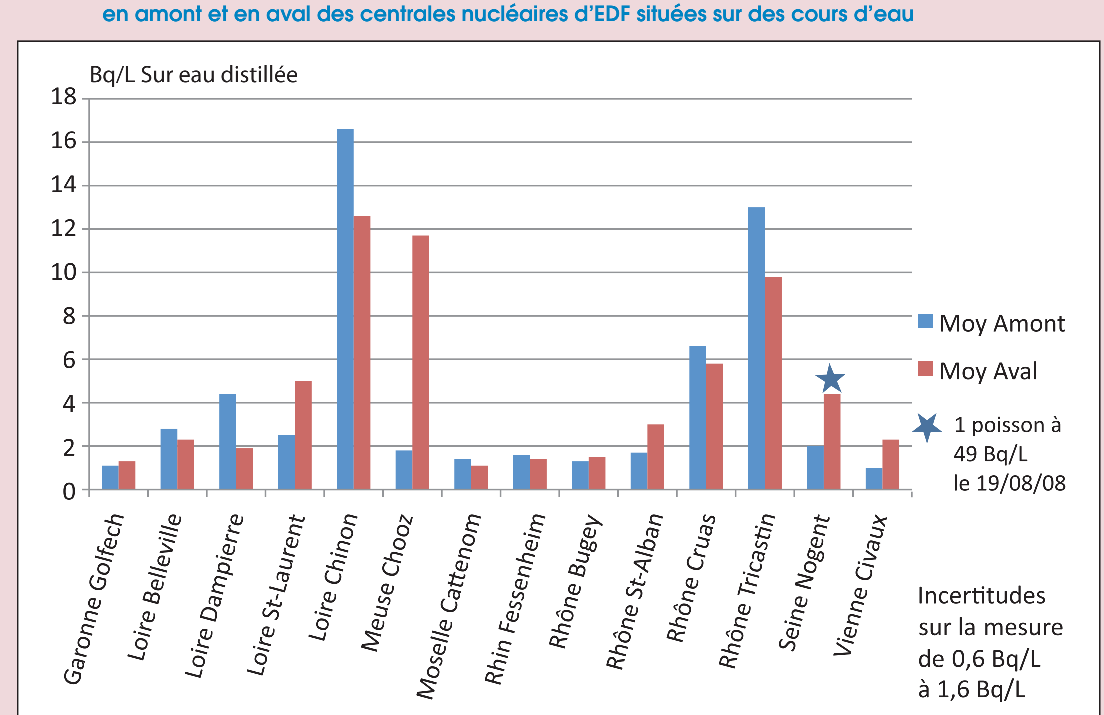
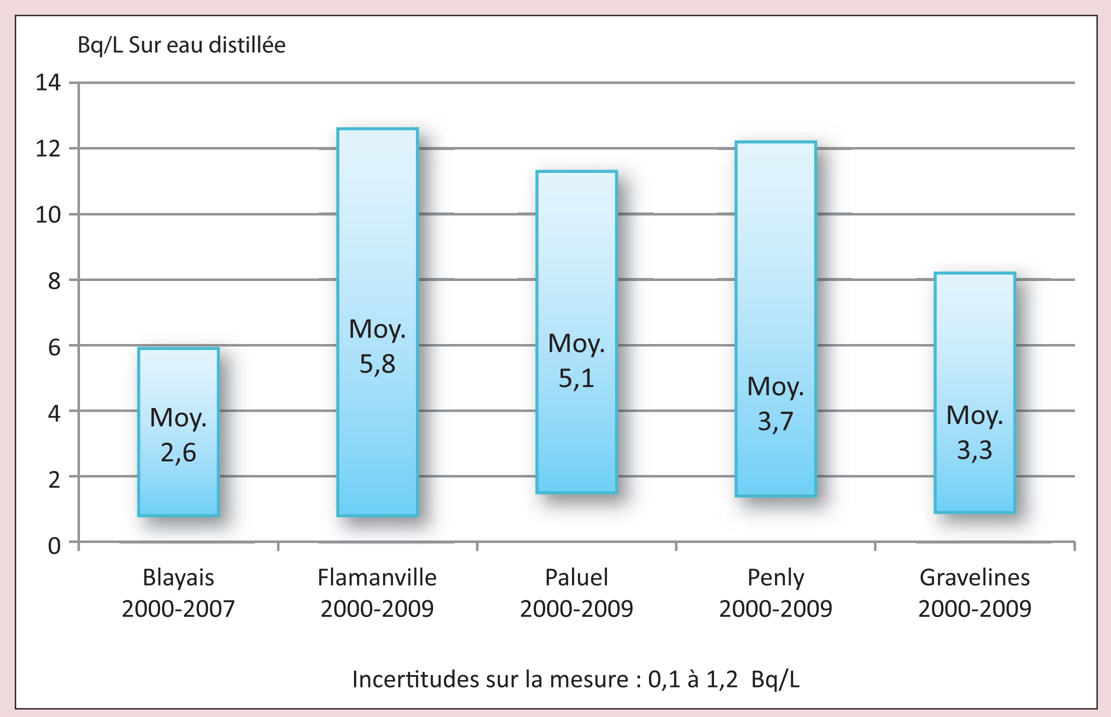


Fig. 7bis → Étendues des activités volumiques en tritium libre dans les algues, dans l'estuaire de la Gironde (Blayais) et le long des côtes de la Manche de Flamanville jusqu'à Gravelines



réservoir d'effluents radioactifs. Sur le Rhône et la Loire, l'influence des rejets de tritium des CNPE est peu perceptible le long du fleuve.

Dans les eaux de nappe, lorsqu'elles sont alimentées par le cours d'eau récepteur des rejets, les activités en tritium peuvent atteindre 10 à 15 Bq/L.

Pour les **centrales nucléaires marines**, les mesures de tritium donnent l'étendue des activités volumiques dans les algues (*cf.* fig. 7bis).

Les activités volumiques en tritium dans la **matière organique** (tissus) des organismes vivants terrestres et aquatiques sont du même ordre de grandeur que celles dans l'eau, en cohérence avec des rejets sous forme d'eau tritiée (HTO). En revanche, dans les sédiments, on constate fréquemment, en amont comme en aval des installations, des concentrations en tritium organique plus élevées que dans les autres compartiments.

Autres radionucléides

La recherche de strontium 90, d'iode 129, de technétium 99 et de transuraniens, radionucléides est effectuée lors des campagnes de mesures décennales. Lorsqu'ils sont détectés à l'état de traces, les études confirment leur origine exogène (essais nucléaires et accident de Tchernobyl), car ces radionucléides ne sont pas détectés dans les rejets liquides et gazeux des centrales.



Centrale nucléaire de Cruas
(4 × 900 MWe – 148 ha).

de sections court-circuitées à débit régulé ont modifié le milieu naturel et l'habitat des espèces animales et végétales. Le Rhône bénéficie également d'apports d'eau provenant des nappes souterraines alluviales (*cf.* encart).

Évolution des températures du Rhône sur la période 1977–2004

Une vaste étude a été menée sur le Rhône par la DRIRE Rhône-Alpes en partenariat avec la DIREN, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, le service de la navigation et EDF. Cette étude[1] a révélé que le régime thermique du Rhône a été affecté par le changement climatique. Sur cette période d'une trentaine d'années, l'augmentation des températures moyennes annuelles a été de + 1,5 ° C à l'amont immédiat du site du Bugey (Haut-Rhône) et de + 3 °C à l'amont de la centrale classique

1. Revue Hydroécologie appliquée (2008) Tome 16, pp. 53-108.



Importance des eaux souterraines dans le régime hydrologique des rivières

Dans le lit de la rivière, l'eau qui s'écoule est en continuité avec celle de la nappe souterraine. Le débit de la rivière varie donc en fonction des échanges avec la nappe. Ces échanges se font dans les deux sens : apport d'eau de nappe lorsque le niveau dans la rivière est bas, recharge de la nappe après une crue de la rivière quand le niveau de la rivière est haut (*cf.* fig. 9).

Les volumes d'eau souterraine dépendent des conditions climatiques et plus particulièrement de la pluviométrie. Les eaux souterraines réagissent à ces conditions moins rapidement que les eaux superficielles.

Exemple de la nappe de Beauce (Seine et Loire)

Le complexe aquifère des calcaires de **Beauce**, communément appelé « Nappe de Beauce » constitue une unité hydrographique qui s'étend sur environ 9 500 km^2 entre la Seine et la Loire. Il se répartit sur deux grands bassins, Seine Normandie et Loire Bretagne, et deux régions, Centre et Ile de France.

Le réservoir aquifère est composé principalement de calcaires empilés dans une cuvette dont le substratum est constitué d'argiles imperméables. Le volume ainsi stocké (environ 20 milliards de m^3) est principalement libre. Dans certains secteurs, comme la forêt d'Orléans, la nappe est captive, surmontée d'une couche d'argile.

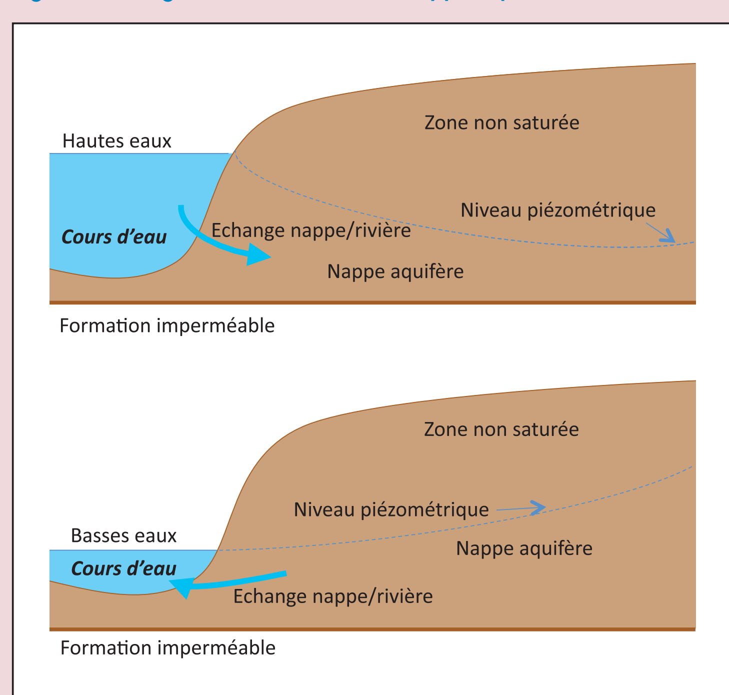
Les fluctuations du niveau de la nappe traduisent les variations d'entrée et de sortie d'eau. En période d'étiage, les résurgences issues de la nappe de Beauce représentent jusqu'à 25 % du débit de la Loire à Blois. De trop faibles précipitations hivernales et estivales provoquent respectivement une moindre recharge de la nappe et une augmentation des prélèvements d'eau. Cette situation, observée de 1990 à 1996, a conduit à une forte baisse du niveau de la nappe, à l'assèchement de plusieurs cours d'eau du bassin et à la baisse de productivité de certains forages.

À l'inverse, une forte pluviométrie hivernale et estivale conduit respectivement à une meilleure recharge de la nappe et à une baisse des prélèvements. Ce fut le cas en 2000 et 2001 où la hausse du niveau de la nappe a conduit à des inondations sur quelques tronçons de cours d'eau et vallées habituellement sèches.

Exemple de nappes le long du Rhône

Entre le Lac Léman et la mer Méditerranée, le Rhône est morcelé en une succession de biefs connectés avec les nappes alluviales. Le débit du fleuve dépend des débits des affluents mais aussi des apports de ces aquifères qui jouent un rôle important en période d'étiage. C'est notamment le cas de la plaine alluviale de Bièvre-Valloire située dans la région du Bas-Dauphiné à mi-distance entre Lyon et Valence. Dans ce bassin d'environ 650 km^2, les eaux superficielles s'infiltrent et alimentent un aquifère formé de dépôts fluvio-glaciaires dont l'épaisseur peut atteindre 40 m. Il affleure en émergences et son l'exutoire est constitué par la nappe alluviale du Rhône sur la commune de St-Rambert-d'Albon, au sud de Péage-de-Roussillon. Cette nappe représente une des contributions les plus importantes au débit du Rhône (2,5 à 3,5 m^3/s) sur l'ensemble du bassin.

Fig. 9 ➜ Échanges entre la rivière et la nappe aquifère



d'Aramon (Bas-Rhône). Cette dérive s'explique principalement pour des raisons naturelles. Les rejets thermiques des centrales électriques ne contribuent que faiblement à ce phénomène et leurs effets sont localisés à l'aval immédiat des installations. L'effet est atténué par des dispositions de conception (construction d'unités refroidies en circuit fermé à Bugey et à Cruas ; rejet effectué en berge ou dans un canal de contournement à Tricastin) pour éviter de créer une barrière thermique sur toute la largeur du fleuve qui perturberait la migration des poissons.

Évolution de la qualité de l'eau du Rhône

L'analyse des paramètres physico-chimiques relevés sur les 13 stations de mesure du bassin rhodanien montre une amélioration de la qualité de l'eau en ce qui concerne les teneurs en phosphates, en azote ammoniacal et de la demande biologique en oxygène (DBO_5), qui sont des indicateurs des rejets urbains. En revanche, les concentrations en nitrates, principalement d'origine agricole, augmentent. Mais l'oxygénation de l'eau du Rhône reste satisfaisante, même lors des épisodes de canicule (entre 6 et 8 mg/L d'oxygène dissous[1]). Les rejets chimiques des centrales nucléaires influencent peu la qualité de l'eau du Rhône qui est de qualité moyenne pour les métaux et les micropolluants organiques (solvants, détergents…) par rapport aux objectifs fixés pour 2015 par la directive européenne cadre sur l'eau.

Évolution de la faune et de la flore

La surveillance hydroécologique indique une évolution des peuplements de poissons et d'invertébrés (crustacés, mollusques…) dans le Haut-Rhône qui s'expliquent en premier lieu par le changement climatique. Les espèces appréciant les eaux tièdes (thermophiles) augmentent en nombre alors que les espèces d'eau froide (sténothermes) régressent. Certaines parties du Rhône sont « court-circuités » par des canaux (ex. vieux-Rhône à Tricastin). Ces tronçons, peu influencés par les rejets des industries, offrent des conditions d'habitats propices à la vie des poissons, des plantes et des invertébrés. Ils constituent des refuges pour les espèces protégées.

La Seine

Hydrologie

La Seine s'étend sur 776 km entre sa source (plateau de Langres) et la Manche où elle se jette. Elle est alimentée par de nombreux affluents (Aube, Marne, Oise, Eure, Yonne…). Trois lacs-réservoirs, l'un sur la Seine en amont de Troyes (205 Mm^3), un deuxième sur l'Aube (170 Mm^3) et un troisième (Lac-réservoir Marne ou lac du Der-Chantecoq de 350 Mm^3 construit aussi et surtout pour protéger Paris contre le risque d'inondation) permettent de réguler son débit et, en particulier, de le soutenir en période d'étiage. Le débit moyen annuel de la Seine est d'environ 80 m^3/s au droit de la centrale de Nogent/Seine.

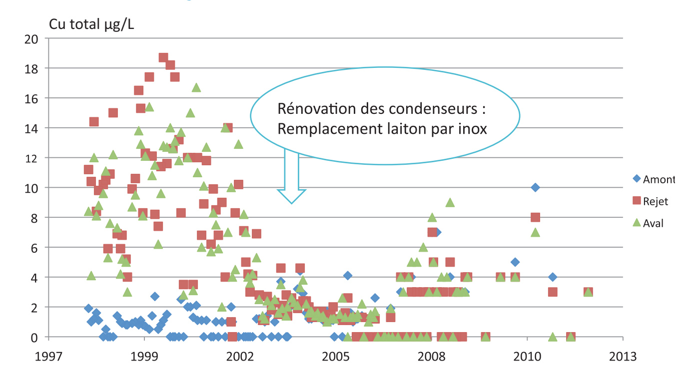
Évolution des températures

Contrairement au Rhône, la Seine est un **fleuve de plaine** et, de ce fait, les températures de l'eau sont fortement dépendantes des conditions météorologiques (*cf.* annexe 8.2). Les relevés de température effectués dans le cadre de la surveillance de l'environnement de la centrale de Nogent ne montrent pas d'évolution des températures moyennes annuelles depuis 1990. Durant les années chaudes de 2003 et de 2004, on a observé une augmentation des températures annuelles et estivales. Dans les variations saisonnières des températures, l'influence des rejets thermiques de la centrale de Nogent, refroidie en circuit fermé, n'est pas perceptible. Notons aussi que la charge thermique (énergie thermique) dissipée en Seine a baissé du fait de la moindre sollicitation, voire de l'arrêt définitif des centrales thermiques à flamme refroidies en circuit ouvert, implantées en bord de Seine ou sur ses affluents (Montereau, St-Ouen, St-Denis).

Qualité de l'eau et hydrobiologie

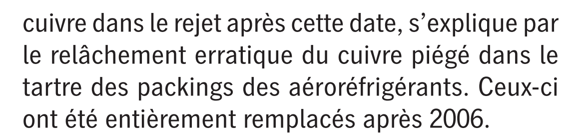
Les campagnes de mesures réalisées au voisinage de la centrale de Nogent/Seine ont montré que la faune et la flore sont riches, diversifiées et peu influencées par les rejets de la centrale. Les rejets de sulfates provenant du traitement antitartre des circuits de refroidissement augmentent les teneurs amont (25 000 µg/L) de 5 000 µg/L. Les rejets de cuivre et de zinc, qui représentaient jusqu'en 1999 plusieurs dizaines de kilogrammes par jour, ont été supprimés en quasi-totalité à la suite du remplacement des tubes de condenseur en laiton par des tubes en acier inoxydable (*cf.* fig. 10).

Fig. 10 ➜ Évolution des concentrations de cuivre total en amont, au rejet et en aval de la centrale de Nogent/Seine entre 1993 et 2009



La figure illustre la diminution des rejets et des teneurs de cuivre à l'aval de la centrale de Nogent à la suite de la rénovation des condenseurs. Après 2000, les valeurs de cuivre « aval » fluctuent à des niveaux plus faibles. La présence de

1. D'après l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.



cuivre dans le rejet après cette date, s'explique par le relâchement erratique du cuivre piégé dans le tartre des packings des aéroréfrigérants. Ceux-ci ont été entièrement remplacés après 2006.

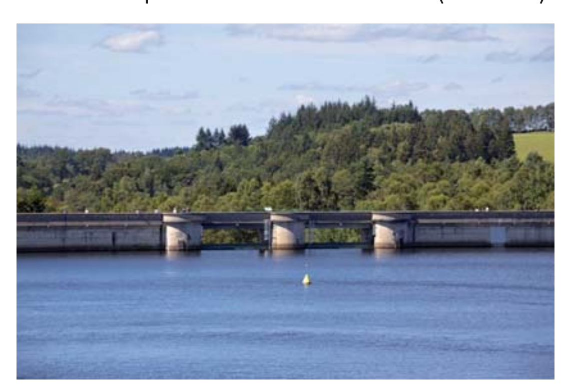
La Loire et la Vienne

Hydrologie

La Loire est le plus long fleuve français (1 012 km). Il prend sa source en Ardèche (Mont Gerbier de Jonc) et se jette dans l'Océan Atlantique. Les retenues de Villerest (230 Mm^3) sur la Loire et de Naussac (190 Mm^3) sur l'Allier assurent un débit objectif d'étiage de 60 m^3/s à Gien. La Loire reçoit, en période d'étiage, de l'eau en provenance de la nappe alluviale de la Beauce (*cf.* encart).

Évolution des températures

Cinq centrales nucléaires ont été construites, à partir des années 80, sur ses rives (Belleville, Dampierre, St-Laurent, Chinon) et sur la Vienne un de ses affluents (Civaux). Toutes les installations sont refroidies en circuit fermé afin de réduire les échauffements dus aux rejets thermiques. Ces échauffements n'excèdent pas, après mélange, quelques dixièmes de degré en été et un degré environ en hiver. La centrale nucléaire de Civaux dispose d'aéroréfrigérants dont l'eau tiède issue des purges est refroidie avant rejet au moyen d'un aéroréfrigérant complémentaire qui permet de supprimer tout échauffement dès que la température de la Vienne atteint 25 °C en été ; le débit de la Vienne est soutenu par la retenue de Vassivière (110 Mm^3).



Retenue de Vassivière en Limousin.

Depuis les années 1970, la charge thermique dissipée au fleuve a diminué avec l'arrêt définitif des centrales nucléaires de St-Laurent A et de Chinon A (filière UNGG[1]) ainsi que celui de la centrale thermique à flamme de Nantes-Cheviré, toutes refroidies en circuit ouvert.

Qualité de l'eau et hydroécologie

Les campagnes de prélèvements et d'analyses réalisées dans le milieu aquatique en amont et en aval des centrales nucléaires du Val de Loire montrent que :

- la qualité de l'eau de Loire est classée « passable à moyenne » selon les critères de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne qui portent notamment sur la conductivité de l'eau, les teneurs en oxygène dissous, en nitrites. Sur ces paramètres, les analyses n'ont pas révélé de différences entre l'amont et l'aval des sites. Toutefois, à la centrale de Belleville, les concentrations en cuivre et en zinc dans l'eau et dans les sédiments sont plus élevées dans la zone proche des rejets du fait de l'usure des condenseurs en laiton. Cette différence disparaît lorsqu'on s'éloigne de la zone du rejet (aval lointain). Les teneurs dans la chair des poissons pêchés est faible (2 à 5 µg/kg sec pour le cuivre ; 5 à 15 µg/kg sec pour le zinc),
- le peuplement de poissons en Loire est particulièrement riche et varié (anguille, silure, sandre, perche, brochet, barbeau, saumon, alose...). Les passes à poissons permettent aux espèces de franchir les seuils (petits barrages) construits au droit des centrales de bord de Loire,
- les teneurs en sels minéraux (nitrates, sulfates, …) en Loire ont été plus élevées durant l'été 2003, année de canicule, du fait du faible débit du fleuve.



La Loire sauvage.

Estuaires de la Gironde et de la Garonne

Hydrologie

Avec 75 km de long et jusqu'à 12 km de large, la Gironde est **le plus vaste estuaire d'Europe occidentale**. Par la Garonne et la Dordogne, il arrive chaque seconde de 800 à 1 000 m^3 d'**eau douce** chargée de sédiments ; dans le même temps, les deux marées quotidiennes introduisent 15 000 à 25 000 m^3 d'**eau de mer** à l'embouchure. La rencontre de l'eau douce, riche en limons, avec l'eau salée fait floculer les particules argileuses qui forment un **bouchon vaseux** caractéristique des eaux estuariennes. Le bouchon vaseux est un **piège pour les polluants** et notamment pour les métaux.

Biologie

Comme tous les estuaires, la Gironde est une zone prolifique pour certaines espèces mais d'une diversité biologique restreinte. Les peuplements de l'estuaire (phytoplancton, zooplancton,

1. UNGG : Uranium Naturel, Graphite, Gaz.

poissons, esturgeons d'Europe, crevettes…) sont généralement caractérisés par un petit nombre d'espèces comprenant un grand nombre d'individus. La salinité joue un rôle essentiel dans la répartition des espèces. Par ailleurs, les zones humides en bordure d'estuaire sont également des sites de **nidification** ou d'**hivernage** de première importance.

Le fort débit de prélèvements d'eau de la centrale nucléaire du Blayais, refroidie en circuit ouvert, a justifié une conception particulière des ouvrages de prise d'eau et la mise en place de moyens de restitution des organismes vivants (crevettes blanches, civelles…) en rive.

Surveillance de la Gironde au voisinage de la centrale du Blayais

Les campagnes de mesure réalisées dans le cadre de la surveillance de l'environnement du site de la centrale du Blayais ont révélé :

- l'influence de la turbidité liée à la présence du bouchon vaseux qui peut engendrer un déficit de l'oxygène dissous pendant les périodes estivales,
- la transformation des fonds de l'estuaire (bathymétrie) sous l'effet des courants qui déplacent les bancs de sables et modifient les écoulements. Ces modifications de la morphologie du lit de la Gironde ont une incidence sur bonne dilution des rejets de la centrale et nécessitent d'opérer des dragages réguliers afin d'éviter l'ensablement des prises d'eau et des points de rejet.



Centrale nucléaire du Blayais (4 × 900 MWe – 227 ha).

Surveillance de la Garonne à la centrale de Golfech

La centrale est située en bordure de Garonne entre le bras naturel du fleuve et le canal de fuite de l'usine hydroélectrique de Golfech, à 15 km en aval de la confluence avec le Tarn. Le prélèvement d'eau se fait dans le canal de fuite de l'usine et le rejet est réalisé au point de jonction de ce canal et de la Garonne. Le débit annuel moyen (module) en ce point est de 400 m^3/s environ et peut atteindre ponctuellement plus de 4 000 m^3/s (débit journalier). En étiage, le débit journalier descend jusqu'à 60 m^3/s. Le débit évaporé par la centrale est compensé par le barrage de Lunax situé en amont (10 Mm^3), lorsque, du 1er juillet au 31 octobre, le débit de la Garonne mesuré à Lamagistère descend au-dessous de 85 m^3/s.

La Garonne est un fleuve de plaine dont la température dépend des conditions météorologiques. Les rejets thermiques de la centrale de Golfech ont peu d'influence sur la température de l'eau compte tenu de l'existence d'aéroréfrigérants. En été, l'échauffement dû aux rejets thermiques est pratiquement nul du fait de la grande efficacité des aéroréfrigérants (*cf.* chapitre 7 sur la nature et le contrôle des rejets).

Sur le plan de la qualité de l'eau de Garonne, celle-ci est de qualité « passable » d'après les critères de l'Agence de l'eau Adour-Garonne. On constate que le fleuve est sujet au phénomène d'eutrophisation pendant les périodes chaudes, notamment au voisinage de la centrale de Golfech. Le peuplement de poissons est varié et comprend plus de 20 espèces dont des poissons migrateurs tels que le saumon, la truite de mer, la lamproie, l'anguille et l'alose pour laquelle une frayère existe à l'aval du site (Lamagistère).

La Meuse

Hydrologie

La Meuse est un fleuve international de 950 km de long qui prend sa source en Haute-Marne (région Champagne-Ardenne) et se jette en mer du Nord (Pays-Bas). La Meuse n'est pas un fleuve très régulier ; son débit est fortement influencé par les pluies (régime type pluvial). Le débit moyen annuel (module) du fleuve à Chooz est de 144 m^3/s et en d'étiage, le débit instantané peut chuter jusqu'à 11 m^3/s. Quant aux crues, elles peuvent être extrêmement importantes (1 610 m^3/s le 30 janvier 1995 à Chooz).Le fleuve est navigable de l'estuaire jusqu'à Givet. La Meuse alimente l'usine de Taillefer, située en Belgique en aval de Chooz, pour la production d'eau potable de la ville de Bruxelles.



Centrale nucléaire de Chooz (2 × 1 450 MWe – 200 ha).

Évolution des températures

La température de l'eau de la Meuse (en moyenne journalière) varie entre 25 °C en été et 0 °C en hiver où le fleuve peut charrier de la glace. Les stations de mesure de température situées en amont et en aval des rejets de la centrale nucléaire de Chooz ne marquent pas de différence parce que le refroidissement de la centrale est assuré au moyen d'aéroréfrigérants.

Biologie

La rivière subit l'eutrophisation comme le montre le développement rapide (bloom) de certaines diatomées au printemps et de phytoplancton en été. Sur le plan physico-chimique (oxygène dissous, conductivité, pH…), les mesures effectuées en amont et en aval de la centrale ne font pas apparaître de différences qui pourraient être attribuées aux rejets.

Le Rhin

Hydrologie

Le Rhin prend sa source dans les Alpes suisses (Mont St-Gothard). D'abord torrent alpin, le régime du Rhin se modifie lorsque celui-ci pénètre, à Bâle, dans la plaine du Rhin où il s'écoule pour se jeter dans la mer du Nord. Sa longueur est de 1 300 km. D'importants travaux de régulation de débit ont été entrepris dès 1907 et jusqu'en 1950 pour éviter les effets dévastateurs des crues et permettre la navigation. De 1928 à 1959, le Grand Canal d'Alsace a été creusé latéralement au Rhin entre Kembs et Vogelgrün. Ce tronçon canalisé de 52 km de long abrite quatre ouvrages hydroélectriques et la centrale nucléaire de Fessenheim.

Évolution des températures

Les rejets de la centrale de Fessenheim se font dans le Grand-Canal d'Alsace dont le module est d'environ 990 m^3/s. Ceci assure une bonne dilution des rejets, accentuée par le brassage des turbines de l'usine hydroélectrique situées en aval. À la confluence du canal avec le vieux-Rhin, en aval de Vogelgrün, l'influence des rejets de la centrale n'est pas perceptible. En raison de la fonte des neiges dans les Alpes, le débit du Grand Canal d'Alsace est, en moyenne mensuelle, maximal en été (>1 400 m^3/s). Il est minimal en hiver et varie de 720 à 950 m^3/s.



Grand Canal d'Alsace – Centrale nucléaire de Fessenheim.

Biologie

Les mesures hydroécologiques effectuées en aval de la centrale montrent l'absence d'influence des rejets de la centrale dans le Grand Canal d'Alsace et a fortiori dans le Rhin naturel en aval.

La Moselle

Hydrologie

Affluent du Rhin, la Moselle prend sa source dans le massif des Vosges à Bussang et se jette dans le Rhin à Coblence en Allemagne. Sa longueur totale est de 560 km.



Centrale nucléaire de Cattenom sur la Moselle (4 × 1 300 MWe – 415 ha) et la retenue du Mirgenbach.

Les différences saisonnières de débit se traduisent habituellement par un maximum en janvier, (environ 1,8 fois le débit moyen annuel – module) et un minimum en juillet (0,4 fois le module). Les crues hivernales peuvent s'avérer dévastatrices si un important épisode neigeux est suivi d'un redoux avec fortes pluies sur un sol saturé. À l'inverse, de graves étiages estivaux sont également fréquents. La Moselle a été canalisée en 1964 : elle est accessible aux chalands de 3 000 tonnes jusqu'à Nancy. De plus, un lac a été créé, en 1985, pour soutenir le cours de la Moselle en cas de sécheresse dans la vallée de Pierre-Percée, en bordure du massif des Vosges.

Évolution des températures

La centrale de Cattenom, refroidie en circuit fermé, prélève l'eau dans la Moselle pour alimenter notamment les aéroréfrigérants. Les rejets thermiques sont effectués par l'intermédiaire de la retenue du Mirgenbach, sorte de petit lac artificiel où les eaux de refroidissement séjournent pendant plusieurs jours avant de rejoindre la Moselle. Cette retenue joue le rôle de tampon et permet d'atténuer les échauffements dus aux rejets thermiques.

Biologie

L'eau de la Moselle est très minéralisée en raison des apports de chlorures de calcium des soudières de la vallée de la Meurthe. Les rejets de chlorures de la centrale de Cattenom provenant du traitement antitartre et de la station de production d'eau déminéralisée

augmentent de 35 000 µg/L la teneur en chlorure déjà présente en amont (320 000 µg/L en moyenne annuelle entre 2000 et 2009). La concentration en chlorures en aval est supérieure à la limite fixée par les autorités allemandes à Coblence (200 000 µg/L) à la confluence avec le Rhin. Le cuivre et le zinc présents dans les rejets – du fait de l'usure des tubes en laiton des condenseurs – se fixent en partie sur la biomasse vivante et dans les sédiments de la retenue artificielle du Mirgenbach. Les rejets de ces métaux en Moselle s'en trouvent d'autant diminués. De ce fait, il n'y a pas de différence de concentration de ces métaux dans l'eau de la Moselle entre l'amont et l'aval du site.

La Manche et la mer du Nord

Hydrologie

La **Manche** au bord de laquelle sont implantées les centrales de Flamanville, Penly et Paluel refroidies en circuit ouvert, est longue de 500 kilomètres, large de 250 km (au maximum) et profonde de 172 mètres en son point le plus bas. Dans sa partie nord, les courants marins sont parmi les plus puissants au monde. L'eau y est turbide mais reste suffisamment oxygénée. C'est une zone riche et diversifiée sur le plan biologique (nombreuses espèces et individus). C'est aussi un important couloir de migration pour les oiseaux et certains poissons et mammifères marins.

La **mer du Nord** (centrale de Gravelines refroidie en circuit ouvert) est alimentée par les eaux riches venues de l'Atlantique par la Manche. Les eaux constituent un milieu varié qui nourrit une grande diversité d'animaux. Plus de 170 espèces de poissons fréquentent les eaux grises de la mer du Nord.



Centrale nucléaire de Gravelines (6 × 900 MWe – 150 ha).

Évolution des températures

L'eau de mer prélevée pour assurer le refroidissement des condenseurs subit un échauffement dont l'effet n'est plus perceptible à quelques dizaines de mètres du point de rejet au large. Dans le rejet où les températures sont supérieures à celles de la prise d'eau, il y a une influence de la température sur la présence de germes microbiologiques dont les vibrions halophiles. Mais au large ou sur les côtes avoisinantes, on n'observe pas de différence avant et après la mise en service des installations.

Effet de la canicule de l'été 2003 sur l'écosystème aquatique

Au cours de l'été 2003, l'installation d'un anticyclone stable sur l'Europe occidentale a engendré une période de sécheresse et de canicule dont l'intensité et la durée ont été exceptionnelles. (*cf.* chapitre 6 sur les prélèvements d'eau et la source froide).

La température des cours d'eau s'est élevée de plusieurs degrés par rapport à la normale, le maximum étant atteint dans la première quinzaine d'août où la température maximale de 32,5 °C a été relevée en Loire. En raison des mesures prises par EDF pour réduire la production d'électricité de certaines centrales, l'autorisation temporaire accordée par le gouvernement de dépasser les limites thermiques a été peu utilisée et la contribution des centrales à l'échauffement de l'eau est restée modérée par rapport à l'échauffement d'origine naturelle.

Pour mieux caractériser les effets sur l'écosystème aquatique de cette canicule, le programme de surveillance hydroécologique de routine des centrales de rivière a été renforcé par le recueil de données sur le plancton, les organismes vivant sur le fond des cours d'eau, les poissons et les microbes pathogènes.

Le bilan des mesures et des observations réalisées au cours de l'été a fait apparaître une stabilité dans la composition des communautés d'organismes aquatiques ou des modifications mineures. Les poissons « sédentaires » des grandes rivières sur lesquelles sont implantées les centrales nucléaires n'ont pas subi de mortalité significative, la reproduction a été bonne et les alevins ont montré une bonne croissance à la fin de l'été. L'écosystème aquatique a bien supporté la canicule probablement en raison du niveau d'oxygène dissous qui est resté satisfaisant dans les grands cours d'eau (> 6 mg/L). Les grands poissons migrateurs ont en revanche été affectés par cet épisode climatique : une partie du stock de saumons a stoppé sa migration vers les frayères et les géniteurs sont morts sans s'être reproduits. L'alose a aussi été touchée par la canicule. Dans tous les cas, les échauffements modérés induits par le fonctionnement de centrales ne sont pas la cause des effets observés. En ce qui concerne les micro-organismes, les indicateurs de la qualité microbiologique des eaux n'ont pas montré de dégradation particulière. Toutefois, certaines bactéries de l'environnement, (cyanobactéries en Garonne, légionelles dans le Rhône) sont favorisées par une augmentation de température des masses d'eaux et ont présenté un développement maximum pendant le pic thermique de la canicule.

Biologie

La surveillance du milieu marin est assurée pour le compte d'EDF par l'IFREMER. Des campagnes de mesure ont débuté avant la construction des centrales afin d'établir un point de référence du milieu marin régi par les marées et les cycles saisonniers. Les études de surveillance réalisées depuis, dans les différents domaines marins (pélagique[1], benthique[2] et halieutique[3]), ont montré que les paramètres et espèces étudiés sont influencés par les variations météorologiques et climatiques. Dans ces fluctuations, l'impact des rejets thermiques et chimiques des centrales de bord de mer, s'il existe, n'est pas perceptible.

3.3 Modélisation de l'impact des rejets sur le milieu aquatique

Pour mieux connaître les évolutions des impacts sur les écosystèmes, le recours à la modélisation numérique est nécessaire.

Sur le plan des **rejets thermiques**, des études de grande ampleur ont été réalisées, dès les années 70, afin de mieux comprendre les phénomènes physiques liés à la dilution des rejets et de prévoir l'impact des futurs installations alors en construction ou en projet. Ainsi, en 1974, pour la centrale de Gravelines en bord de mer, un calcul prédictif de l'emprise et de l'évolution de la zone d'eau chaude (panache) avait été effectué à l'aide d'un modèle bidimensionnel pour déterminer les échauffements moyens dans le champ lointain, le champ proche n'étant que grossièrement décrit par le modèle.

Depuis ce temps, les codes de calcul ont été largement perfectionnés grâce à l'évolution conjointe des modèles numériques et de la puissance de calcul des ordinateurs. Le système de modélisation hydroenvironnementale TELEMAC-MASCARET est en particulier utilisé pour les études des rejets dans les champs proche et lointain. Ce système couvre les domaines de l'hydrodynamique, de la qualité de l'eau, des états de mer et des vagues, de la dynamique sédimentaire en rivière et en zone côtière, de la pollution des sols et des nappes souterraines à différentes échelles d'espace (de la centaine de mètres à quelques centaines de kilomètres).

En particulier, le code TELEMAC 2D reproduit les courants et l'évolution des températures de la surface libre de l'eau. Il permet notamment la représentation fidèle de phénomènes complexes tels que les marées, les crues, les courants dans les ports et l'impact des ouvrages sur les courants.

Le code de calcul TELEMAC 3D simule les écoulements en trois dimensions en mer et en rivière. Il permet de réaliser un grand nombre d'études, notamment sur la dilution des rejets d'une centrale nucléaire ou de toute autre installation (*cf.* annexe 8.3).

Au sein du système, ces codes peuvent être associés à d'autres codes spécialisés dans la modélisation de la houle ou du transport des sédiments, des rejets radioactifs et chimiques.

Par ailleurs, l'outil développé dans le cadre du projet européen ERICA est utilisé pour déterminer les impacts des rejets radioactifs liquides sur les animaux et végétaux aquatiques. Cette méthode d'évaluation consiste à recenser les espèces vivantes du site étudié, à calculer la dose reçue par chacune d'elles afin de comparer la dose obtenue aux seuils (Derived Consideration Reference Level) définis par la CIPR.

Sur le plan des rejets chimiques, le modèle EUTROLOIRE a été développé, en 1984, pour simuler l'évolution de la biomasse phytoplanctonique dans la zone influencée par les rejets thermiques. Les résultats fournis par le modèle se sont avérés en bonne concordance avec les mesures effectuées dans le cadre de campagnes hydroécologiques.



1. Pélagique : relatif à la haute mer.
2. Benthique : qui vit sur le fond des mers.
3. Halieutique : relatif à la pêche.

4. Évaluation des impacts des rejets sur la santé humaine

La présence de radionucléides ou de substances chimiques dans l'environnement d'une centrale nucléaire est généralement faible. De ce fait, l'impact des rejets radioactifs et chimiques sur le public est évalué par calculs à partir des rejets des installations et non à partir de mesures directes effectuées dans l'environnement. Toutefois, lorsque des mesures de terrain sont significatives, elles peuvent être intégrées aux paramètres de calcul pour évaluer l'impact.

Ces évaluations sont réalisées, à l'origine, dans l'étude d'impact environnementale préalable à la mise en service sur la base des rejets prévisionnels. Lorsque la centrale est en exploitation, ces calculs sont reconduits annuellement pour les rejets radioactifs. En cas de modification des paramètres de fonctionnement de la centrale pouvant entraîner une augmentation des rejets radioactifs ou chimiques, le calcul de l'impact des nouveaux rejets est effectué dans le cadre de la procédure administrative de demande d'autorisation de rejet.

Ces calculs d'impact sont effectués en suivant des méthodes définies par les organismes compétentes : Direction Générale de la Santé (DGS), Institut de Veille Sanitaire (InVS), Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) ; ces calculs prennent notamment en compte :

- la nature des rejets,
- le volume des rejets en masse ou activité, quantifiés, d'une part, au niveau des limites demandées (aspect dit « enveloppe » donnant l'impact maximal) et, d'autre part, au niveau des rejets réels supposés (approche dite « réaliste »),
- le cheminement des substances rejetées depuis le point de rejet jusqu'à la personne du public la plus exposée (voies d'exposition),
- la quantité de substance radioactive ou chimique incorporée par inhalation ou ingestion d'aliments,
- la connaissance de la radiotoxicité et de la toxicité de la substance incorporée (relation dose-effet),
- le niveau d'irradiation externe du public pour ce qui concerne les substances radioactives.

Les rejets thermiques ne donnent pas lieu à étude d'impact sur le public du fait de la seule température. En revanche, des études sont réalisées sur la présence de micro-organismes pathogènes dans des eaux de refroidissement de centrales concernées.

4.1 Impacts des rejets radioactifs sur le public

Pour évaluer l'impact des rejets radioactifs sur le public, la réglementation demande de calculer la dose efficace annuelle aux personnes susceptibles d'être les plus exposées aux rejets radioactifs liquides et gazeux du fait de leur situation géographique (sous les vents dominants des rejets atmosphériques, …) et de leurs habitudes de vie (habitudes alimentaires, séjour à l'intérieur ou à l'extérieur des habitations…).

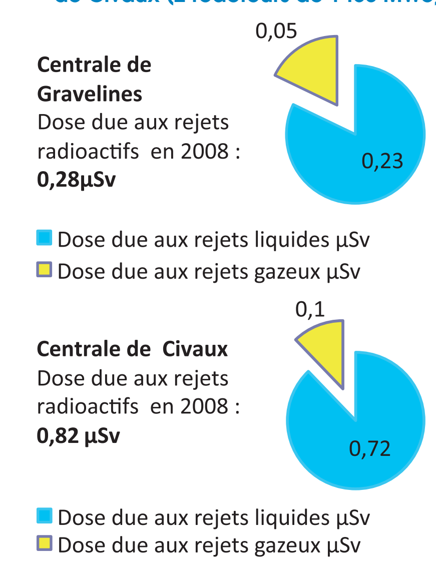
Les niveaux d'exposition étant trop faibles pour être détectés par la mesure, ceux-ci sont donc calculés (*cf.* annexe 8.4). À partir des activités rejetées par voies liquide et gazeuse, la modélisation (code de calcul) estime la dispersion des radionucléides dans l'environnement et le transfert de la radioactivité par l'air et par l'eau et la chaîne alimentaire, via les animaux et les végétaux, jusqu'aux individus du groupe de référence (*cf.* encart).

Calculée sur la base des **limites réglementaires annuelles de rejet**, la dose maximale individuelle (dite *a priori*) peut atteindre environ 10 µSv/an selon les cas. À partir des **rejets réels** effectués dans l'année, la dose (dite *a posteriori*) est d'environ 1 µSv/an et peut être comparée à la limite fixée par la réglementation de 1 000 µSv/an, ainsi qu'aux fluctuations de la radioactivité naturelle en France plusieurs centaines de µSv selon les régions.

À titre d'exemple, les doses reçues par le public du fait des rejets des centrales de Gravelines et Civaux sont données ci-après (*cf.* fig. 11).

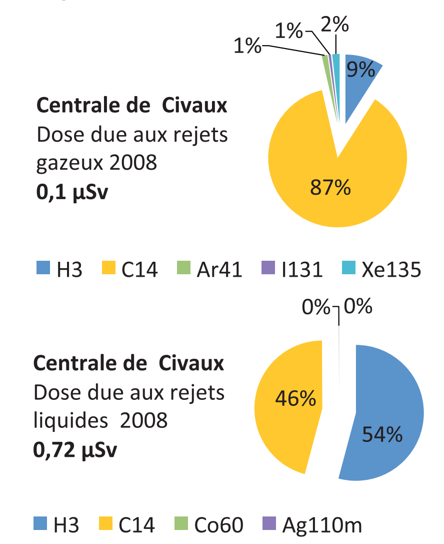
La dose due aux **rejets radioactifs gazeux** est essentiellement liée à l'ingestion de végétaux entrant dans la chaîne alimentaire. Pour les **rejets radioactifs liquides**, la dose est due généralement à l'ingestion d'eau et d'aliments (voie d'exposition prépondérante, en particulier sur les sites fluviaux où l'eau douce peut être utilisée pour l'arrosage et la boisson).

Fig.11 ➜ Dose (ou exposition) due aux rejets radioactifs à la centrale de Gravelines (6 réacteurs de 900 MWe) et à la centrale de Civaux (2 réacteurs de 1450 MWe)



Les efforts réalisés par l'exploitant pour réduire fortement les rejets des substances radioactives tels que les cobalts, l'argent 110m, les césiums font que l'impact dosimétrique des rejets radioactifs n'est plus marqué que par le tritium et le carbone 14 (*cf.* fig. 12 ci-dessous et *cf.* §5).

Fig. 12 ➜ Dose due aux rejets radioactifs liquides et gazeux à Civaux



4.2 Exposition du public due aux bâtiments

Le débit de dose, exprimé en µGy/h ou nGy/h (cf. chapitre 10, annexe 10.1), auquel le public est exposé du fait des installations, provient des bâtiments et des aires d'entreposage de déchets radioactifs de faible et moyenne activité. Compte tenu des épaisseurs des murs, le rayonnement direct émis par les installations en limite de site (clôture) est voisin du bruit de fond naturel (ex. en clôture du site du Bugey les débits de dose en 2009–2010 ont varié de 0,067 et 0,108 µGy/h avec une moyenne à 0,082 µGy/h. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les débits de dose naturels de la région Rhône-Alpes : 0,100 µGy/h).

4.3 Impacts des rejets chimiques sur le public

La méthode d'évaluation de l'impact sanitaire dû aux rejets de substances chimiques (EQRS)[1] est tirée des recommandations faites par l'InVS et de l'INERIS (*cf.* annexe 8.5). Elle suit les quatre étapes suivantes :

- identifier les effets indésirables liés intrinsèquement aux substances considérées (notion de danger),
- évaluer l'exposition individuelle des personnes du public en déterminant les voies par lesquelles les substances peuvent être incorporées par inhalation ou ingestion,
- recenser, à partir des données scientifiques disponibles, les relations entre le niveau d'exposition à une substance donnée et la survenue des effets indésirables (courbe dose-effet),
- déterminer, sur ces bases, l'impact sanitaire dû à la substance considérée (notion de risque) en se référant aux normes sanitaires établies par des organismes internationaux tels que l'OMS, l'EPA aux USA…

Notons que cette méthode s'applique aussi bien aux rejets liquides que gazeux. Dans ce paragraphe, ne sont considérées que les substances chimiques susceptibles de présenter un effet sur la santé humaine, compte tenu des quantités rejetées et de la toxicité des substances. Il n'y a donc pas d'identité entre la liste ci-après et celle du paragraphe 2 traitant de l'impact environnemental des rejets chimiques. On remarquera par ailleurs que – contrairement aux rejets radioactifs, où l'impact peut être évalué à partir un d'indicateur intégrant plusieurs radionucléides, à savoir la **dose efficace** – l'impact des rejets chimiques fait l'objet d'un calcul du risque sanitaire pour chaque substance ou famille de substances considérées (**indice de risque**).

Rejet d'acide borique

L'acide borique est facilement absorbé par l'organisme lorsqu'il est ingéré par le biais des aliments et de l'eau de boisson. Il est peu toxique, en effet aigu, et peut provoquer des irritations de l'œil et des muqueuses. Il n'est pas considéré comme cancérigène, ni mutagène. Aucun

1. EQRS : Évaluation Quantitative du Risque Sanitaire.

effet à long terme, ni aucun effet sur la fertilité humaine d'une exposition à l'acide borique n'a été observé. Les expériences sur animaux ont toutefois révélé des effets sur la reproduction et le développement. Dans la classification des produits CMR[1] de l'Union européenne, il est classé toxique pour reproduction (catégorie 1B). Compte tenu des faibles concentrations mesurées dans l'environnement aquatique (quelques µg/L), le public n'est pas exposé à ce risque. La manipulation du produit par les travailleurs doit respecter les règles hygiène et de sécurité.

Rejet liquide d'hydrazine

Chez l'homme, l'hydrazine provoque une forte irritation de la peau, des yeux et de l'appareil respiratoire (seuil olfactif : 3,7 ppm soit 5 mg/m^3 d'air). Cette substance est classée par l'IARC (International Agency for Research on Cancer) et par l'UE (Union Européenne) dans la catégorie 2 des substances CMR pouvant être cancérigène et mutagène pour l'homme. La manipulation de ce produit doit respecter des règles de sécurité très strictes pour éviter d'exposer le personnel aux vapeurs d'hydrazine. L'exposition du public aux rejets d'hydrazine des centrales est faible voire nulle du fait des faibles rejets et de la décomposition rapide de l'hydrazine sous l'effet notamment du rayonnement ultra-violet du soleil (UV).

Rejet liquide de morpholine

Concentrée, la morpholine est un produit irritant pour la peau, les yeux, les muqueuses nasales et les voies respiratoires qui nécessitent le port de protection pour le personnel qui la manipule. Il n'existe pas de données sur les éventuels effets cancérigènes et mutagènes de la morpholine chez l'homme. Il n'y a pas non plus d'information publiée sur un éventuel effet de la morpholine sur la reproduction. La morpholine peut se transformer en N-Nitroso-morpholine qui présente un risque cancérigène.

Les concentrations de morpholine ajoutées dans le milieu aquatique du fait des rejets des centrales nucléaires sont comprises entre 0,05 à 0,7 µg/L. La morpholine ingérée par l'eau de boisson est très peu métabolisée par l'organisme et s'élimine par les urines.

Rejet liquide d'éthanolamine

Ce produit est irritant et corrosif pour la peau, les yeux, et les voies respiratoires et digestives. Il ne fait pas partie de la liste des produits classés CMR par l'Union européenne. Les faibles concentrations de ce produit dans les eaux des rivières du fait des rejets n'ont pas d'impact sur le public.

Rejet liquide de nitrates et de nitrites

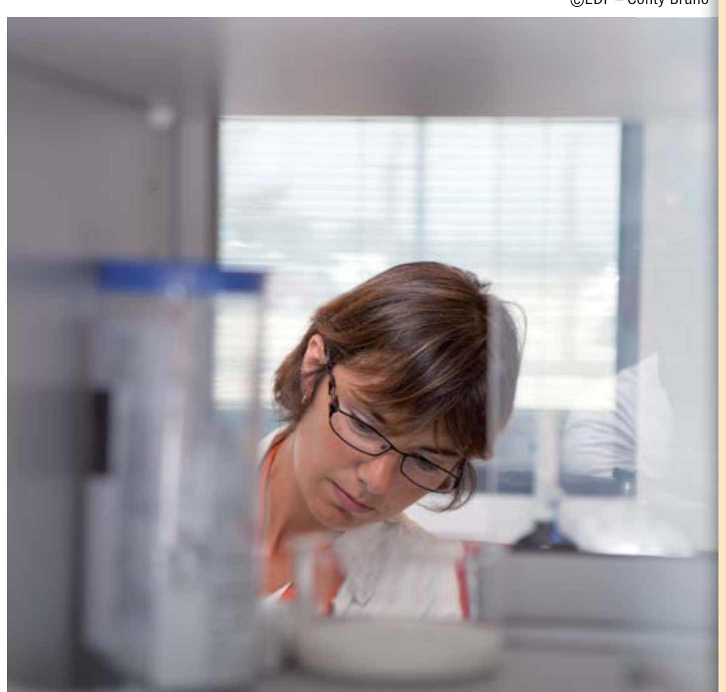
La population est exposée aux substances azotées et phosphatés par l'ingestion de légumes et occasionnellement par celle d'eau consommée. Pour les nitrates, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a établi une Dose Journalière Acceptable (DJA) pouvant être ingérée par les aliments de 3,7 mg NO_3/kg.J (0,84 mg-N/kg.J). Les études d'impact montrent que les rejets de nitrates des centrales conduisent à des doses journalières d'exposition 100 à 1000 fois plus faibles que la valeur de l'OMS.

Rejet liquide de métaux (cuivre, zinc)

Les animaux, dont l'être humain, ont besoin d'une certaine quantité de cuivre dans leur régime alimentaire, mais une concentration de cuivre très élevée peut être toxique et entraîner des effets délétères. La détérioration des globules rouges, des poumons, du foie et des fonctions pancréatiques sont les symptômes les plus courants d'un empoisonnement par le cuivre. Les quantités de cuivre et de zinc susceptibles d'être ingérées du fait des rejets des centrales sont bien inférieures aux seuils à partir desquels des effets sont observables. À titre d'exemple, à la centrale de Belleville, les rejets de cuivre et de zinc dus à l'usure des tubes de condenseurs en laiton n'entraînent pas d'exposition du public (dose journalière d'exposition) supérieure aux seuils de toxicité (DJA : 0,01 m/kg/j pour une exposition aiguë au cuivre ; 0,3 mg/kg/J pour une exposition chronique au zinc).

Rejet chimique gazeux non radioactif (ammoniac)

Les opérations de lessivage de générateurs de vapeur peuvent conduire à des rejets d'ammoniac. Tout est mis en œuvre pour réduire ces rejets au maximum car les vapeurs d'ammoniac sont très toxiques et présentent un risque pour les voies respiratoires.



1. CMR Cancérigène-Mutagène- Reprotoxique.

5. Prévention et réduction des impacts

Le souci de limiter l'impact des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents sur l'environnement est pris en compte dès la phase de conception de la centrale nucléaire. Le choix du site pour sa capacité à refroidir les installations et à diluer les effluents, la définition des ouvrages de prises d'eau, des systèmes de collecte et de traitement des effluents sont des éléments déterminants de l'impact de la future centrale nucléaire.

Lorsque la centrale est mise en service, il est de la responsabilité de l'exploitant de respecter la réglementation en vigueur et d'agir pour réduire, autant que possible, les rejets en mettant en place une gestion dite « optimisée » des effluents (*cf.* §5.3). Cette gestion s'appuie notamment sur l'adoption d'une attitude interrogative obligeant l'exploitant à se poser des questions sur la pertinence de ses pratiques afin de les améliorer par un judicieux partage du retour d'expérience.

5.1 Choix du site

Une centrale nucléaire occupe, suivant le nombre d'unités et le mode de refroidissement, un espace compris entre 55 et 415 hectares. L'incidence d'une telle construction sur l'environnement (paysage, écosystèmes…) fait l'objet d'études approfondies qui tiennent une place importante dans le choix du site. On évite ainsi de sélectionner des lieux dans les zones sensibles sur le plan des écosystèmes ou sur des cours d'eau dont les débits sont trop faibles pour assurer une bonne dilution des rejets d'effluents.

5.2 Conception des ouvrages de prise d'eau et de rejet

Le dimensionnement des ouvrages de prises d'eau et de rejet est étudié à la conception de la centrale nucléaire en tenant compte de la morphologie du cours d'eau ou du littoral et des résultats d'essais effectués sur maquette ou sur ordinateur (simulations). Les ouvrages sont alors « dessinés » pour que ceux-ci puissent à la fois assurer leur fonction et préserver au mieux l'environnement. Ainsi, l'impact des ouvrages de prise d'eau et de rejet peut être atténué :

- au moyen de dispositifs de récupération des organismes vivants sur les centrales refroidies en circuit ouvert (cf. encart),
- par la construction de passes à poissons dans le cas où un seuil est érigé au travers du cours d'eau (cf. encart),
- en disposant judicieusement le point de rejet pour permettre la meilleure diffusion possible des rejets d'effluents.

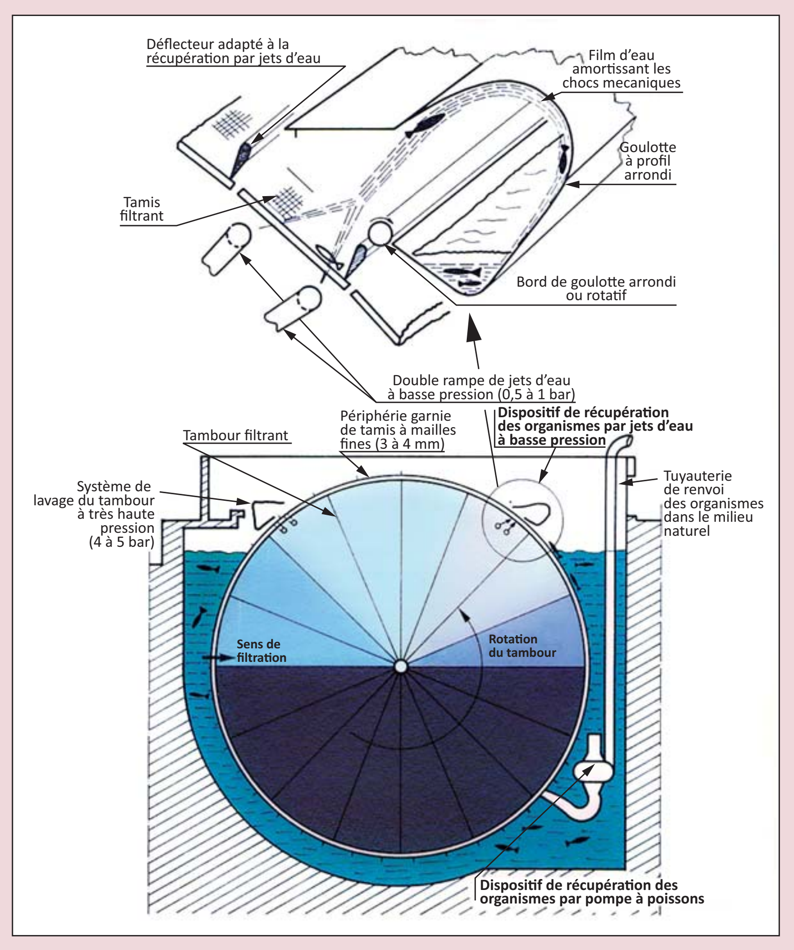
La protection des poissons et organismes vivants

Les seuils situés à l'aval des prises d'eau créent un obstacle pouvant s'opposer à la migration des poissons. Par ailleurs, les poissons peuvent être aspirés dans les prises d'eau. Afin de remédier à cette situation, des moyens sont mis en œuvre pour faciliter la migration des poissons et éviter leur aspiration grâce à l'aménagement adéquat des ouvrages de prises d'eau.

Les dispositifs de récupération des organismes vivants (poissons, crustacés…)

Bien que les ouvrages de prise d'eau soient équipés de pré-grilles, de grilles et de filtres à maille fine qui évitent l'aspiration des organismes vivants dans les circuits, ces derniers peuvent être entraînés par le fort courant d'eau. Sur les centrales refroidies en circuit ouvert, il existe deux types de dispositifs permettant de réduire les effets dus à l'aspiration des pompes de prélèvement. Le premier met en œuvre des jets d'eau à basse pression (moins de 1 bar) dans la partie émergée des tambours filtrants pour repousser les organismes vivants vers le milieu naturel en dehors des zones d'influence des ouvrages de prise d'eau. Ce dispositif nécessite un débit d'environ 5 % du débit total transitant dans le tambour filtrant ; il est très efficace vis-à-vis des crevettes et de plusieurs espèces de poissons. A la centrale du Blayais, ce dispositif équipe l'ensemble des tambours filtrants.

Le second dispositif est constitué de pompes spéciales (pompes à poissons) qui aspirent les organismes retenus sur les filtres pour les reconduire, sans dommage, vers le milieu naturel. Ce système, testé à la centrale du Blayais, est aussi efficace que le dispositif à jets basse pression mais il est moins fiable et nécessite une maintenance importante.



Filtre rotatif équipé d'un dispositif de récupération des organismes vivants

Les passes à poissons

La plupart des poissons effectuent des déplacements dans les cours d'eau à la recherche de nourriture, d'abris et de zones de reproduction. Certaines espèces effectuent des petits déplacements comme les brochets. D'autres se déplacent sur de grandes distances comme les grands migrateurs qui passent du milieu marin au milieu d'eau douce en fonction de leur cycle de reproduction (saumon, truite, alose, anguille…). Les exploitants d'ouvrages pouvant faire obstacle à cette migration installent des systèmes de franchissement tels que les passes ou ascenseurs à poissons. Le principe de ces systèmes consiste à attirer les poissons à l'aval de l'obstacle (seuil) et de les inciter à passer par une voie d'eau artificielle qui le contourne. Pour qu'une passe à poissons soit efficace, le poisson doit en trouver l'entrée et être capable de la franchir sans retard ni blessures préjudiciables à sa migration. Partout où cela est nécessaire des passes à poissons ont été aménagées sur les ouvrages de prises d'eau des centrales nucléaires en rivière (Belleville, St-Laurent, Dampierre, Civaux et Chooz).



Passe à poissons à la centrale de St-Laurent-des-eaux

5.3 Gestion optimisée des effluents

L'optimisation des rejets constitue un des principes fondamentaux de la réglementation s'agissant des rejets et des impacts des centrales nucléaires. Il incite l'exploitant à mettre en œuvre, à un coût acceptable, les meilleures techniques disponibles (procédés de traitement et de rejet ou pratiques d'exploitation) pour réduire autant que possible les rejets d'effluents et leurs impacts sur l'environnement et le public (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation).

La gestion optimisée des effluents et des rejets consiste à :

- réduire à la source la production d'effluents (le meilleur effluent étant celui qu'on ne produit pas),
- collecter de façon sélective les divers effluents pour traiter chacun d'eux le plus efficacement possible voire, dans certains cas, les réutiliser (recyclage),

- piloter finement les installations de traitement biocide et antitartre afin de minimiser les rejets de substances chimiques tout en maintenant l'efficacité de ces traitements,
- contrôler rigoureusement les rejets pour garantir en toute circonstance le respect des dispositions réglementaires, notamment les limites à ne pas dépasser.

Réduction à la source

Les effluents sont produits tant en phase de fonctionnement (montée en puissance, variation de puissance du réacteur) qu'en phase de maintenance des installations et, en particulier, lorsque la centrale est mise à l'arrêt pour procéder au renouvellement du combustible.

Afin de réduire la production d'effluents, de nombreuses actions sont mises en œuvre par l'exploitant au quotidien. Celles-ci concernent notamment :

- les rondes durant lesquelles une inspection des puisards de collecte est systématiquement effectuée pour détecter tout écoulement excessif d'effluents,
- les puisards de collecte d'effluents qui ont été équipés de mesures de niveau retransmises en salle de commande afin de déceler toute évolution anormale de la vitesse de remplissage,
- les procédures de recherches de fuites mises en œuvre pour détecter les arrivées indésirables d'effluents.

Collecte sélective et traitement optimisé

Une centrale nucléaire est conçue pour permettre une collecte sélective des divers effluents produits. S'agissant des effluents radioactifs liquides usés (dits TEU), ceux-ci sont collectés suivant quatre catégories (drains de planchers, effluents de servitudes, effluents chimiques, drains résiduaires). Chaque effluent est ainsi orienté vers le système de traitement le mieux adapté à ses caractéristiques physico-chimiques. À titre d'exemple, les Drains Résiduaires (DR) radioactifs peu chargés chimiquement subiront une filtration-déminéralisation qui piègera la quasi-totalité de la radioactivité. En revanche, les effluents chimiques (EC) – renfermant des substances telles que les phosphates, le bore, des matières en suspension – sont impropres à un traitement sur déminéraliseurs et sont donc traités par évaporation. Ce type de traitement produit des concentrats (boues) qui sont conditionnés en tant que déchets radioactifs dits de procédé.

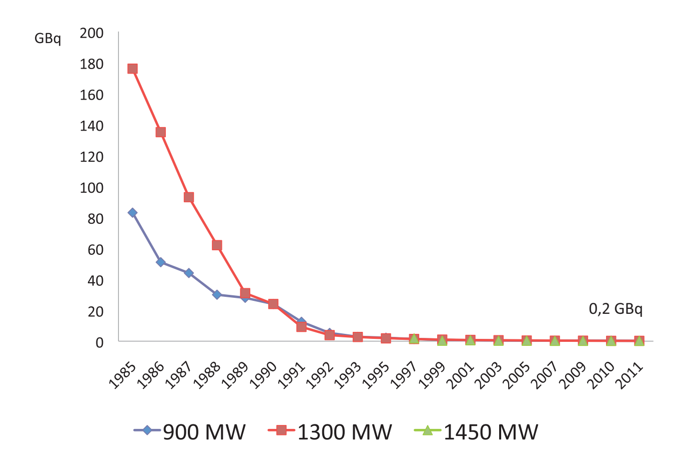
Rejets radioactifs gazeux

Les rejets de gaz rares ont diminué entre 2002 (1,6 TBq par réacteur) et 2010 (0,5 TBq par réacteur) grâce notamment aux mesures prises pour améliorer l'étanchéité du combustible nucléaire (gaines) et celle des circuits véhiculant des gaz radioactifs. Par ailleurs, le contrôle régulier de l'efficacité des systèmes de traitement (filtres THE et pièges à iodes) ainsi que la possibilité de laisser décroitre les effluents gazeux à période courte permet de réduire fortement les rejets de gaz rares, d'iodes et d'aérosols radioactifs.

Rejets radioactifs liquides

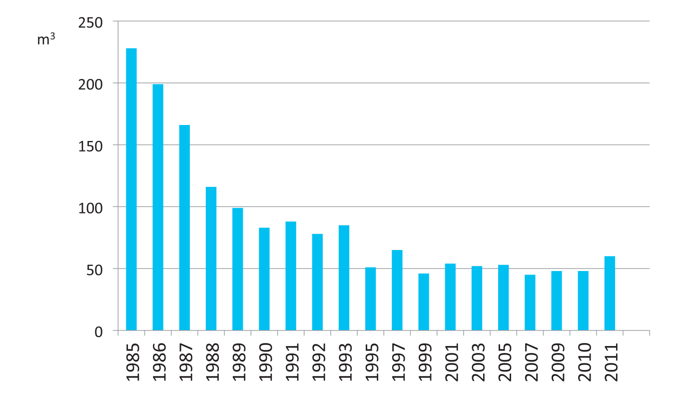
Les actions, engagées dès le milieu des années 1980 pour optimiser la production et le traitement des effluents radioactifs, ont permis de diviser par plus de 100 les rejets liquides de produits de fission (PF) et d'activation (PA), hors tritium et carbone 14 (*cf.* fig.13).

Fig. 13 ➜ Réduction des rejets radioactifs liquides PF+PA, hors tritium et carbone 14 ; activité ramenée à une unité de production



Cette réduction des rejets d'activité n'a pas entraîné de surproduction de déchets liés au traitement (filtres résines, concentrats d'évaporation). Le volume de déchets de procédé a au contraire diminué sensiblement grâce aux efforts réalisés pour réduire **à la source** la production d'effluents (*cf.* fig. 14).

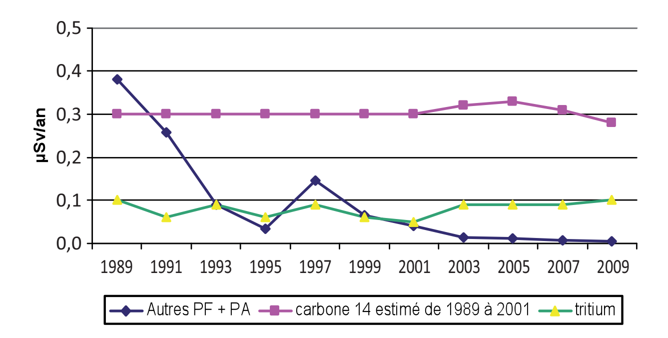
Fig. 14 ➜ Volume de déchets radioactifs résultant du traitement des effluents radioactifs ramené à une unité de production



En corollaire, ces actions se sont traduites par une baisse de la dose due aux produits de fission et d'activation hors tritium et hors carbone 14. De ce fait, à partir du milieu des années 90, l'impact dosimétrique des rejets radioactifs liquides sur le public est essentiellement dû au carbone 14 et au

tritium dont les rejets sont stables d'une année sur l'autre et la dose correspondante inférieure au µSv/an (*cf.* fig. 15).

Fig. 15 ➜ Évolution de la dose due aux radionucléides D'après les rejets radioactifs liquides de la centrale de Bugey



Le **carbone 14** n'est que faiblement retenu sur les systèmes de traitement. Très difficile à mesurer dans les effluents, les rejets de C14 sont déterminés par calcul d'après l'énergie électrique brute produite par la centrale, à raison de 15 GBq par GW_ean. Cette valeur adoptée pour l'ensemble des centrales nucléaires d'EDF est tirée d'études théoriques et de l'expérience des centrales étrangères. Le carbone 14 (émetteur bêta pur) n'est mesuré dans les effluents que depuis 2002. Ces mesures confortent les valeurs obtenues par calcul.

Quant **au tritium**, rappelons que celui-ci n'est pas piégé par les moyens de traitement en raison de sa forme chimique identique à celle de l'hydrogène de l'eau (H_2O). Le tritium formé principalement par activation dans l'eau du circuit primaire est donc rejeté en quasi-totalité. L'activité rejetée dépend en grande partie de l'énergie produite par la centrale.

Eaux d'exhaure des salles des machines (circuit SEK)

La recherche de fuites sur les matériels du circuit secondaire, le recyclage des circuits d'échantillonnage et une meilleure préparation des opérations de maintenance ont permis de réduire le volume d'eau rejeté. Le volume annuel d'eau d'exhaure Ex (SEK) est d'environ 55 000 m^3 par unité de production alors qu'il pouvait atteindre jusqu'à 100 000 m^3 certaines années. Comme cette eau contient les substances de conditionnement du circuit secondaire (ammoniaque, hydrazine, morpholine, éthanolamine), la réduction de volume a permis d'éviter d'autant le rejet de ces substances dans l'environnement, d'économiser les appoints d'eau déminéralisée au circuit secondaire et, par la même occasion, les réactifs chimiques nécessaires à sa fabrication (*cf.* chapitre 7 sur la nature et le contrôle des rejets).

Traitement antiamibien par injection de monochloramine

Le traitement contre les organismes pathogènes par injection de monochloramine est réalisé, sur les sites concernés, selon des modalités définies dans les autorisations de rejets. Ces traitements ont fait l'objet d'essais afin d'optimiser les rejets chimiques sans pour autant diminuer l'efficacité du traitement.

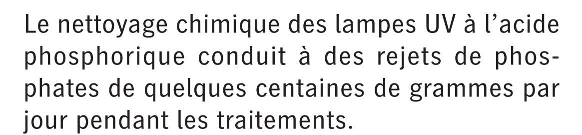
Traitement séquentiel : des essais de traitement séquentiel ont été réalisés à partir de 2005 à la centrale du Bugey. Ils ont consisté à alterner les phases d'injection de monochloramine avec des phases d'arrêt d'injection (12 heures d'injection suivies de 12 heures d'arrêt). Les quantités de réactifs et les rejets azotés ont diminué de 30 % environ (nitrates principalement), tout en maintenant une bonne efficacité du traitement. Ce type de traitement a été étendu progressivement aux autres centrales du parc.

Stratégies de mise en service et d'arrêt du traitement biocide à la monochloramine : Il existe deux façons de démarrer le traitement, soit à date fixe (courant avril ou début mai selon les sites, les conditions météorologiques, les débits du cours d'eau…), soit en fonction du niveau de concentrations en amibes pathogènes mesurées dans les circuits et du seuil à ne pas dépasser après en aval des rejets (100 Nf/L). Cette deuxième méthode permet de réduire sensiblement le nombre de jours de traitement, les quantités de réactifs et les rejets associés. Elle nécessite en revanche un suivi plus fréquent des concentrations en amibes pathogènes dans les circuits. Le traitement peut, de la même façon, être interrompu, soit à date fixe prédéterminée (courant septembre ou début octobre selon les sites), soit sur des critères permettant d'apprécier l'absence de risque de prolifération amibienne (température et au débit du cours d'eau, météorologie).

Traitement UV antiamibien optimisé à Civaux

Chacune des deux unités de la centrale nucléaire de Civaux est équipée d'une installation de traitement antiamibien utilisant les rayonnements ultraviolets (*cf.* chapitre 6 du guide). L'efficacité des installations de traitement UV a été améliorée par :

- la pose de grilles améliorant les turbulences de l'eau à traiter en amont des bancs d'insolation UV,
- la maintenance régulière des capteurs et des systèmes de nettoyage mécanique ou chimique à l'acide phosphorique des lampes UV,
- la vérification fréquente de la bonne régulation du niveau de la lame d'eau soumise à insolation UV qui est un des facteurs déterminant de l'efficacité des bancs UV, suivi de la colonisation en amibes par des mesures dites « rapides » permettant en période à risque d'anticiper les actions de prévention.



Le nettoyage chimique des lampes UV à l’acide phosphorique conduit à des rejets de phosphates de quelques centaines de grammes par jour pendant les traitements.

Contrôle des rejets

Des procédures et des fiches de suivi (fiches EAR : Échantillonnage/Analyse/Rejet) sont établies pour garantir le respect de conditions de rejet fixées par la réglementation, en termes de débits de rejet, de concentrations ou d’activités à ne pas dépasser dans le rejet ou dans l’environnement (*cf.* chapitre 5 du guide).

5.4 Organisation – management de l’environnement

Les dispositions relatives aux prélèvements d’eau et aux rejets sont **organisées** dans chaque centrale nucléaire (niveau local) ainsi que sur le plan national au sein des centres d’ingénierie et de la Direction de l’entreprise.

Au plan local, **la Direction** de chaque centrale met en place une organisation visant principalement à :

- prévenir les pollutions,
- assurer une parfaite maîtrise des prélèvements d’eau et des rejets d’effluents,
- maintenir l’impact de ces activités à un niveau aussi bas que raisonnablement possible.

Cette organisation passe par une forte implication du personnel concerné (sensibilisation, formation, motivation) ; en particulier :

- le **personnel de conduite** chargé d’exploiter les installations de collecte de traitement des effluents, de rechercher les éventuelles fuites, d’effectuer les rejets,
- les **chimistes** qui effectuent les analyses et choisissent le traitement le plus approprié,
- le **personnel des laboratoires d’effluents et d’environnement** chargé des contrôles avant rejet et des mesures dans l’environnement, la tenue des registres réglementaires,
- le **personnel de maintenance** tenu d’intégrer dans ses activités les préoccupations liées à l’environnement (limiter la production d’effluents et de déchets).

Cette organisation s’appuie en particulier sur une **ingénierie « environnement »** composée d’ingénieurs et de techniciens en charge de la prise en compte du retour d’expérience. En période d’arrêt de tranche – où la production d’effluents est maximale en raison des nombreuses activités de maintenance nécessitant des vidanges de circuits – une cellule d’arrêt de tranche est créée afin d’assurer une bonne coordination entre toutes les parties prenantes (agents de conduite, chimistes, maintenance) et minimiser ainsi la production d’effluents.

Enfin, chaque centrale nucléaire a mis en place un **Système de Management de l’Environnement (SME)** suivant la norme internationale ISO 14001. Celle-ci exige le respect scrupuleux de la réglementation et l’engagement de l’exploitant d’améliorer sans cesse ses pratiques et ses performances en matière de protection du public et de l’environnement.

Sur le plan national, les centrales nucléaires d’EDF bénéficient aussi des compétences apportées par les **ingénieries nationales** notamment en matière d’analyse du retour d’expérience et du partage des bonnes pratiques. Cet apport est assuré par :

- des réunions de partage d’expérience,
- la rédaction de « fiches de position » et de « fiches questions/réponses » fournissant aux centrales, des indications nécessaires à la résolution de problèmes d’ordre technique, réglementaire ou environnemental,
- l’animation des différents métiers ayant trait à l’environnent (opérateurs de conduite en charge de la gestion des effluents et des rejets, chimistes des laboratoires d’effluents et d’environnement, personnel de maintenance).

Des Guides de bonnes pratiques, dont l’objectif est d’aider les exploitants à progresser dans la gestion des effluents et la maîtrise des rejets de toute nature, sont régulièrement mis à jour.



5.5 Actions d’études et de recherches (R&D)

La nature des préoccupations environnementales liées au fonctionnement des centrales nucléaires a notablement évolué tant sur le plan réglementaire que sur celui de l’opinion publique. Ainsi, la réglementation française – principalement centrée à l’origine sur la radioactivité des effluents liquides et gazeux – s’est considérablement renforcée à partir des années 2000 afin d’intégrer les évolutions communautaires en matière de protection de l’environnement et de la santé. Cela s’est traduit par une réduction forte des limites de rejet pour

les effluents radioactifs, par des exigences accrues en matière de prélèvements d'eau, et de rejets non radioactifs. Les modalités de surveillance de l'environnent et ainsi que les méthodes d'évaluation des impacts ont aussi beaucoup changé et se sont se améliorées. Par ailleurs, le public s'est montré plus exigeant sur la nature des impacts des centrales nucléaires et souhaite être régulièrement informé sur ces questions.

Dans ce contexte, les actions de R&D sont indispensables afin de préparer l'avenir et faire face aux enjeux futurs. Des programmes d'études sont donc engagés dans ce sens par EDF, en partenariat avec des laboratoires français et étrangers sur les principaux points suivants.

Gestion de la ressource en eau

Les centrales nucléaires utilisent pour le refroidissement des installations d'importants volumes d'eau (70 % de l'eau prélevée en France tous usages confondus). Cette eau a beau être restituée au milieu aquatique en quasi-totalité, les contraintes dues au réchauffement du climat : diminution de la ressource en eau, augmentation des températures moyennes des cours d'eau, dégradation de la qualité chimique et microbiologique des rivières, … sont bien sûr à prendre en compte dans la gestion de l'eau.

Signalons qu'un outil de modélisation (MORDOR) a été développé par EDF/DTG pour faire des prévisions de débit des cours d'eau ; ces prévisions sont utilisées comme référence par la DREAL dans la gestion des ressources en eau.

Connaissance et maîtrise des rejets chimiques, évaluation de leur impact

Le durcissement de la réglementation européenne (Directive Cadre sur l'Eau et Directives filles qui en découlent, règlement REACH…), dont les exigences sont reprises dans les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de bassin), nécessite d'approfondir, en particulier, les connaissances sur :

- les substances présentes dans les effluents (notamment les produits de décomposition de certaines substances chimiques) et sur les techniques de traitement économiquement viables permettant d'en réduire le rejet,
- les effets de ces rejets sur l'environnement et sur la santé humaine (analyse du devenir des substances chimiques dans les écosystèmes notamment dans les sédiments, détermination réaliste des voies d'exposition à l'homme, réduction des incertitudes de calcul…).

Évaluation des impacts des rejets

l'évaluation des effets des rejets radioactifs, chimiques et thermique d'une centrale nucléaire passe par l'application de méthodes et de codes de calcul s'appuyant sur un grand nombre de données (caractéristiques des rejets, des voies de transfert à l'homme, toxicologie vis-à-vis de l'environnement, effet sur la santé…). L'absence de données conduit à adopter des hypothèses majorantes aboutissant à des évaluations exagérées (peu réalistes). Pour réduire autant que possible les « conservatismes » des calculs, il est indispensable d'affiner tous les paramètres par des études de laboratoires ou de terrain. À ce titre, les campagnes de mesures de radioécologie et d'hydrobiologie fournissent de précieuses informations (*cf*. chapitre 9 sur la surveillance de l'environnement).

Participation d'EDF à des exercices d'inter-comparaison d'outils d'évaluation d'impact sur les écosystèmes

Depuis une décennie, plusieurs outils d'évaluation d'impact radiologique sur les écosystèmes ont été développés dont le modèle européen ERICA et l'outil RESRAD aux USA. Le programme EMRAS de l'AIEA, auquel EDF R&D participe, et le projet européen PROTECT ont permis de comparer ces différents outils et ont mis en évidence que les résultats des évaluations présentaient des écarts importants d'un outil à l'autre. Pour améliorer la performance de ces outils, une compilation internationale des paramètres nécessaires à l'estimation du transfert des radionucléides à la faune et à la flore sauvage est en cours dans le cadre du programme EMRAS 2 de l'AIEA.

Maîtrise des risques sanitaires associés au développement de micro-organismes dans les circuits de refroidissement

Des travaux sont réalisés dans le cadre de veille technologique mise en œuvre par EDF sur ce sujet notamment sur :

- la compréhension du phénomène de colonisation en amibes de circuits de refroidissement,
- le devenir des micro-organismes rejetés en rivière,
- le développement de méthodes de mesures rapides des micro-organismes dans les circuits.

5.6 Analyses de cycle de vie (ACV) : un instrument précieux d'aide à la décision

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode normalisée (ISO 14040) d'évaluation des impacts potentiels d'un système ou procédé de production sur l'environnement. Elle repose sur l'inventaire des flux de matière et d'énergie pour les différentes phases du cycle de vie du produit, depuis l'extraction des matières premières, la génération d'effluents et déchets, jusqu'à son élimination en fin de vie. Selon une image couramment utilisée, on évalue ainsi l'impact du produit « du berceau à la tombe ».

Les ACV comportent quatre étapes : la définition des objectifs de l'étude, l'inventaire des flux entrant et sortant du système étudié, l'évaluation des impacts sur l'environnement et la santé humaine et l'interprétation des résultats. Cette méthode est mise en œuvre avec des logiciels qui exploitent des bases de données génériques, prennent en compte les données spécifiques de l'étude, établissent le lien entre ces multiples données dans la phase d'inventaire pour aboutir au calcul d'un indicateur global d'impact.

Une des utilisations courantes de l'ACV consiste à comparer plusieurs procédés de production concurrents, c'est alors un outil d'aide à la décision sur des critères globaux d'environnement. Des ACV ont ainsi été réalisées pour comparer la performance environnementale de plusieurs procédés d'élimination des boues de déminéralisation aux CNPE de Flamanville et de Paluel. Dans les deux cas, les faibles tonnages annuels en jeu, l'absence de toxicité et la forte dilution initiale des effluents a donné l'avantage au rejet direct en mer par rapport aux traitements de déshydratation des boues puis de transport pour un usage agricole ou en cimenterie.

6. Influence du fonctionnement d'une centrale nucléaire sur son environnement et sur la santé (Synthèse)

Pour clore ce chapitre très technique, nous donnons ici une synthèse des impacts d'une centrale nucléaire sur l'environnement et la santé du fait des prélèvements d'eau et des rejets.

Prélèvement et restitution d'eau

La question de l'impact dû aux prélèvements d'eau est abordée lors des études préalables au choix du site, puis à la conception des ouvrages. Les centrales, dont les condenseurs sont refroidis en « circuit ouvert », sont implantées en bord de mer ou sur des fleuves à fort débit (Rhin, Rhône). L'eau prélevée est intégralement restituée au milieu après passage dans les condenseurs et circuits de refroidissement où elle s'échauffe de quelques degrés. Sur les centrales refroidies en « circuit fermé », une partie de l'eau prélevée (20 à 40 % environ) est évaporée à l'atmosphère sous la forme d'un panache de vapeur. Cette quantité d'eau, non restituée à la rivière, peut être compensée, en période d'étiage, en particulier sur les rivières à faible débit, par des lâchers d'eau provenant de barrages situés en amont.

Impact mécanique dû aux prises d'eau

Les poissons sont aspirés dans la station de pompage et peuvent subir des chocs de pression. Des systèmes sont mis en place pour faciliter leur retour au milieu naturel, mais on ne peut éviter des captures de poissons, en particulier celles des espèces de petite taille.

Impact des rejets radioactifs liquides et gazeux en exploitation

Les contrôles et mesures effectués dans le cadre du programme de surveillance ne mettent en évidence qu'une légère incidence des rejets radioactifs sur le milieu terrestre. Dans les milieux aquatique et marin, on décèle, à faible teneur, la présence de radionucléides (tritium essentiellement) dans la zone proche du point de rejet. La dose de rayonnement reçue par le public du fait des rejets radioactifs liquides et gazeux est mille fois plus faible que celle due à la radioactivité naturelle (qui varie elle-même fortement d'une région à l'autre en fonction notamment de la nature des sols).

Impact des rejets chimiques liquides

Les rejets chimiques résultent du conditionnement des circuits (acide borique, lithine, hydrazine, morpholine, éthanolamine, ammoniaque, phosphates, …) et des traitements pratiqués pour lutter contre le tartre et le développement microbiologique (sulfates chlorures, produits azotés…). Les effluents borés sont recyclés autant que possible ; l'hydrazine est éliminée par traitement et les procédés de traitement antitartre et biocide sont optimisés (*cf.* §5). Lorsque le recyclage ou le traitement n'est pas possible, les substances chimiques sont rejetées

selon des dispositions réglementaires qui limitent leurs quantités (flux) et leurs concentrations. Des mesures de surveillance en continu et des campagnes annuelles de prélèvement permettent de vérifier l'absence d'effet néfaste de ces rejets sur l'environnement et sur la santé humaine.

Impacts des rejets gazeux non radioactifs

les rejets gazeux dus au fonctionnement des installations (salle des machines, diesels de secours…) n'ont pas d'impact sensible sur l'environnement (*cf.* chapitre 7 sur la nature et le contrôle des rejets).

Impacts des rejets thermiques

L'eau prélevée pour les circuits de refroidissement de la centrale nucléaire est échauffée avant d'être rejetée dans le fleuve ou dans la mer. Cet échauffement est, soit calculé à partir de paramètres de fonctionnement de la centrale, soit mesuré par des thermographes. Les résultats sont retransmis en salle de commande où l'exploitant peut en suivre les évolutions. L'échauffement du milieu aquatique ne doit pas dépasser les limites réglementaires fixées dans les arrêtés ou les décisions administratives propres à chaque site. Dans le cas où ces limites risqueraient d'être dépassées – pendant les périodes de forte chaleur ou d'étiage – la centrale est exploitée à une puissance plus faible et peut même, en cas de nécessité, être provisoirement mise à l'arrêt. Les études menées depuis plusieurs dizaines d'années montrent qu'entre l'amont et l'aval des centrales nucléaires fluviales, la flore et la faune ne sont pas modifiées du fait des rejets thermiques. Il en est de même des centrales de bord de mer où l'échauffement est restreint à la zone proche des rejets (rayon de 50 mètres environ).

Impacts dosimétriques dus aux bâtiments

L'exposition directe du public du fait des installations provient des bâtiments nucléaires et des bâtiments d'entreposage des déchets radioactifs. Cet impact peut être qualifié de négligeable car il se confond avec le niveau de rayonnement ambiant.

Bibliographie

- EDF, Revue Hydroécologie appliquée Tome 16, 2008.
- ASN, Revue Contrôle n° 177 : les rejets radioactifs en France, nov. 2007.
- ASN, Revue Contrôle n° 188 : la surveillance de la radioactivité de l'environnement, juin 2010.
- SFRP, Journées des 19 et 20 juin 2012 sur l'écotoxicologie et la radioécologie.

Pour en savoir plus

- http://www.ineris.fr/index (hydrazine)
- http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/ (morpholine)
- http://www.hydroecologie.org



Annexe 8.1

Recommandations de la CIPR pour la protection radiologique de l'environnement

Les Recommandations générales de radioprotection révisées en 2007 (publication 103[1] de la CIPR) reconnaissent l'importance de la protection de l'environnement. Ce problème a été abordé pour la première fois dans la Publication 91[2] et il a été conclu qu'il était important de concevoir un système de protection des espèces non humaines similaire à celui utilisé pour la radioprotection des êtres humains.

La Commission s'est auparavant intéressée à l'environnement de l'espèce humaine uniquement pour le transfert des radionucléides, principalement dans le contexte des situations d'exposition planifiée. Dans de telles situations, la Commission continue à penser que les normes de réglementation pour l'environnement nécessaires pour protéger le public en général garantissent que d'autres espèces ne sont pas exposées au risque.

Afin de fournir un cadre solide pour la protection de l'environnement dans toutes les situations d'exposition, la Commission propose d'utiliser des animaux et des plantes de référence (détaillé dans la publication 108[3] de la CIPR). Dans le but d'établir une base d'acceptabilité, les doses supplémentaires calculées pour ces organismes de référence pourraient être comparées aux doses connues pour conduire à des effets biologiques spécifiques et aux débits de dose normalement rencontrés dans l'environnement naturel. Cependant, la Commission ne propose pas de formuler des «limites de dose » pour la protection de l'environnement. Car à l'exception des mammifères, elle constate un manque général d'informations sur lesquelles des relations dose-effet peuvent être établies, ce qui permettrait de dresser des conclusions pertinentes, en particulier en ce qui concerne les débits de dose relativement faibles susceptibles d'être observés dans la plupart des situations d'exposition. À cet égard, les bases de données sur les effets des rayonnements pour la majorité des animaux et des plantes ne sont en général pas différentes de celles relatives aux études de « toxicité chimique », où les niveaux nécessaires pour produire un effet donné sont supérieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux attendus dans la majorité des situations environnementales.

L'AIEA reconnaît également que la protection de l'environnement fait partie des points à considérer dans les procédures de licensing, d'autorisation de rejets, et dans les démarches d'optimisation relative à la gestion de sites pollués et aux situations d'urgence. Mais les conditions du consensus international sur la mise en œuvre pratique de la protection de l'environnement ne sont pas encore réunies.

Bien qu'aucune obligation réglementaire n'existe en France, l'ASN a formulé le souhait que le risque environnemental des rejets d'effluents radioactifs soit évalué. L'évaluation de l'impact environnemental des rejets radioactifs a donc déjà été réalisé par EDF pour les dossiers de demande d'autorisation ou de renouvellement d'autorisation de rejets (CNPE de Chooz, Dampierre et Bugey) en utilisant l'outil européen ERICA. L'utilisation de cet ERICA suppose de recenser les espèces vivantes du site étudié, de calculer la dose (ou débit de dose) reçue par chacune d'elles afin de la comparer aux seuils définis par la CIPR.

1. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4) (2007).
2. ICPR. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radioation on Non-Human Specie. Publication 91 (2003).
3. ICRP, Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6) (2008).

Annexe 8.2

Régimes thermiques des grandes rivières

La température naturelle locale d'une rivière ($T°_{nat}$) peut être définie comme celle d'un plan d'eau homogène sans entrée d'eau ni échange significatif d'énergie avec le fond. Dans ces conditions, l'évolution de $T°_{nat}$ ne dépend que des échanges d'énergie « eau-atmosphère » et donc des conditions météorologiques locales et de la profondeur du plan d'eau. De l'amont vers l'aval, la température d'une rivière tend vers la température naturelle locale correspondant à sa profondeur. En l'absence de discontinuités thermiques marquées d'origine naturelle ou artificielle, la $T°_{nat}$ n'est atteinte qu'à une certaine distance des rejets thermiques selon la vitesse d'écoulement de l'eau.

S'agissant des grandes rivières **de plaine** (Loire, Moselle, Seine), la température est proche de la $T°_{nat}$ dans la partie moyenne de leur cours ; la température de la rivière est à l'**équilibre** avec les conditions météorologiques locales[1]. Le rejet thermique d'une centrale nucléaire est donc rapidement estompé en aval par la mise en équilibre des températures de rejet et du milieu.

En revanche, un fleuve, comme le Rhône ou le Rhin, qui subit l'influence de grands lacs en amont de son cours, n'atteint pas la $T°_{nat}$ du fait du fort écoulement et du passage rapide dans des zones où les conditions climatiques peuvent être différentes. Ce régime thermique est dit **de transfert**. Dans ce type de régime, les variations positives ou négatives de température intervenues en amont sont conservées en partie en aval[2].



1. Ph. Gosse, J. Gailhard, F. Hendrickx, 2008. Analyse de la température de la Loire moyenne en été sur la période 1949 à 2003. Hydroecol. Appl. Tome 16, pp. 233-274.
2. A. Poirel, F. Lauters, Desaint, 2008. 1977-2003 : Trente années de mesures des températures de l'eau dans le bassin du Rhône. Hydroecol. Appl. Tome 16, pp. 191-213.

Annexe 8.3

Modélisation numérique de la dispersion des rejets thermiques de la centrale du Bugey

La distribution du champ de température dans le Rhône à l'aval de la centrale nucléaire du Bugey a été évaluée à l'aide du modèle tridimensionnel TELEMAC 3D dans différentes conditions de débit et de fonctionnement de la centrale. Dans l'hypothèse du fonctionnement à pleine charge des deux tranches en circuit ouvert, la distribution des températures en sortie du canal de rejet, fait apparaître une veine d'eau échauffée accolée à la rive droite en surface comme à mi-profondeur (*cf.* fig. A.8.3.1).

Vers l'aval (PK 41), la rive droite est échauffée de 6 à 7 °C alors que la majeure partie du fleuve est peu affectée par le rejet thermique (< 0,5 °C en rive gauche). L'arrivée de l'Ain tend à homogénéiser la température transversalement au PK 31, la rive gauche restant moins échauffée que la rive droite (environ 1 °C).

Fig. A.8.3.1 ➜ Température de surface et à mi-profondeur près du rejet au niveau du rejet (PK44)

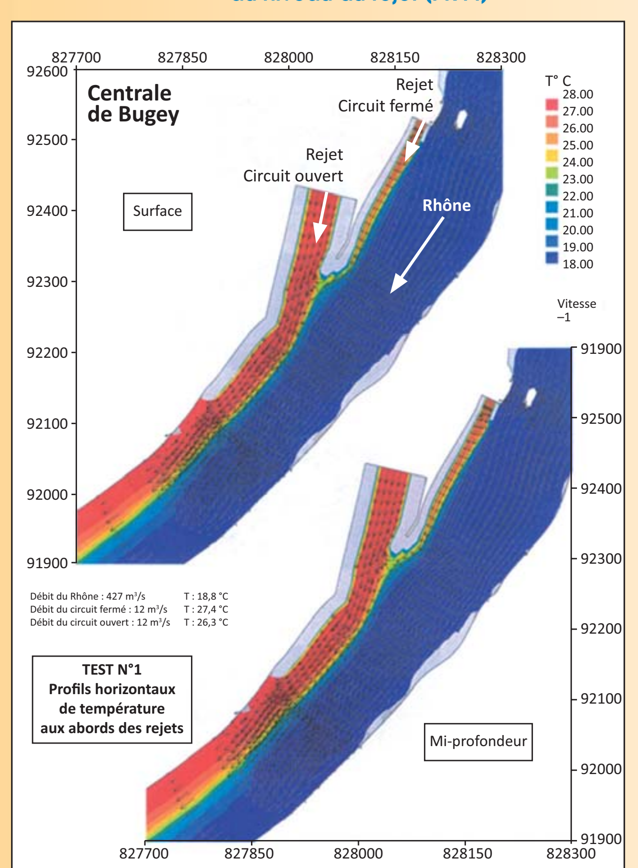
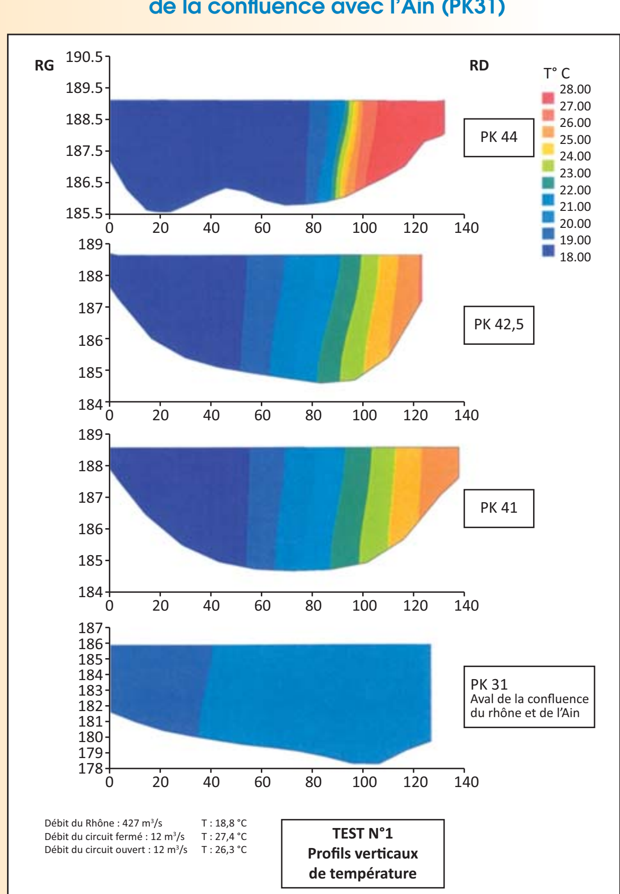


Fig. A.8.3.2 ➜ Profils verticaux de température en aval de la centrale, à l'aval immédiat du rejet (PK44), à l'aval de la confluence avec l'Ain (PK31)



Annexe 8.4

Évaluation de l'impact des rejets radioactifs liquides et gazeux sur le public

À la demande de la Direction Générale de la Santé, des experts se sont réunis, en 1996 et 1997, pour préciser les moyens permettant d'apprécier l' « impact sanitaire » sur le public des installations nucléaires en fonctionnement normal ». Ce travail a abouti à un rapport ayant reçu, en 1998, un avis favorable du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF).

Ce rapport considère que « les rejets radioactifs des installations nucléaires sont très faibles et que les effets cancérogènes éventuels attendus sont très rares. (…) L'impact sanitaire ne pouvant être mesuré directement, il convient d'évaluer indirectement cet impact par un indicateur : ***la dose****. Cet indicateur est, dans l'état actuel des connaissances, le mieux adapté pour apprécier l'impact sanitaire. On parlera donc* ***d'impact dosimétrique*** *».*

Ce rapport conforte la **dose** comme un élément clé du système de radioprotection adopté par les instances internationales qui suivent en cela les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR).

Le calcul de dose consiste premièrement à déterminer les transferts de radioactivité vers l'environnement puis, dans une deuxième étape, à évaluer la dose reçue par le groupe de référence, compte tenu des différentes voies d'exposition externes et internes.

Transfert des radionucléides vers l'environnement

Les rejets atmosphériques (Bq/s) d'une centrale nucléaire sont effectués par l'intermédiaire d'une cheminée. Le premier paramètre à prendre en compte dans le calcul est lié à la dispersion des radionucléides dans l'atmosphère. Le Coefficient de Transfert Atmosphérique (CTA), exprimé en s/m^3, permet d'évaluer l'activité volumique de l'air ambiant en Bq/m^3 pour chaque radionucléide.

Une partie des radionucléides de l'air se dépose au sol suivant des lois dépendantes des conditions météorologiques (temps sec ou pluie). On en déduit l'activité surfacique du sol (Bq/m^2).

La contamination des végétaux par les rejets atmosphériques provient des dépôts de particules sur les feuilles et du transfert de radioactivité par les racines. La contamination végétale par les racines est négligeable en regard de celle par voie aérienne ; elle n'est donc pas prise en compte dans le calcul.

Pour ce qui concerne les rejets liquides, il est pris notamment en compte la dilution des radionucléides dans le milieu aquatique, le transfert de radioactivité sur les produits de la pêche ainsi que la contamination foliaire des végétaux terrestres arrosés avec de l'eau prélevée dans les cours d'eau.

Voies d'exposition des personnes du public

Les principales voies d'exposition sont de deux natures distinctes :

- l'exposition externe due au panache des rejets atmosphériques et à l'exposition par les dépôts sur le sol,
- l'exposition interne, pour laquelle il est pris en compte l'inhalation de l'air ambiant et l'ingestion de denrées alimentaires.

Calcul de la dose au public

L'impact dosimétrique annuel est traduit par le calcul de la dose efficace exprimée en µSv/an. L'exposition interne (inhalation et ingestion) est calculée en utilisant les facteurs de dose fournis par la CIPR et repris par la Directive EURATOM 96/29[1]. Ces facteurs tiennent compte de la nature radiochimique des radionucléaires et de leur métabolisme dans l'organisme. Ils permettent de calculer la dose intégrée sur une période de 50 ans pour les adultes et de 70 ans pour les enfants (dose efficace engagée). Cette dose interne est rapportée à l'année d'incorporation (année des rejets) puis additionnée à la dose externe. Cette simplification surestime légèrement la dose annuelle affichée dans les dossiers de demande d'autorisation.

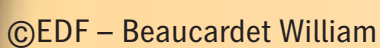
On distingue deux types de calcul d'impact dosimétrique :

- le calcul, dit « ***a priori*** », réalisé à partir des limites de rejet demandées. Il vise à vérifier que les personnes des groupes de référence ne sont

1. L'arrêté du 1er septembre 2003 définit les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

pas exposées à une dose annuelle supérieure à la limite fixée pour le public par la réglementation, à savoir : 1 000 µSv/an.

- le calcul dit « ***a posteriori*** », fondé sur les rejets annuels supposés réels de l'installation, est conduit de la même façon que celui *a priori* et permet une évaluation réaliste de l'impact. Lorsque la centrale est en exploitation, le calcul de dose est réalisé sur la base des rejets réellement effectués dans l'année.



Annexe 8.5

Évaluation des risques des substances chimiques sur la santé humaine et sur l'écosystème

Méthode (principe pour les rejets chimiques liquides[1])

Évaluer les risques d'une substance chimique consiste à estimer la possibilité d'effets nocifs de cette substance sur la santé humaine et sur les écosystèmes en répondant à deux questions :

Quels sont les niveaux de la substance étudiée pour lesquels on peut s'attendre à des effets nocifs pour l'être humain ou pour les écosystèmes ?

La réponse à cette question découle de l'analyse des données toxicologiques (pour l'être humain) et écotoxicologiques (pour l'environnement) issues d'expérimentation en laboratoire. Ces données permettent de calculer les valeurs de la *Dose Journalière Acceptable (DJA) pour la santé de l'être humain et la concentration sans effet prévisible (« Predicted No Effect Concentration » ou PNEC)*, la *concentration sans effet observé* (« No Observed Effect Concentration » ou NOEC) ou la *concentration effective médiane* (« Effect Concentration 50 % » ou EC50 ou CL50) pour l'environnement.

Quelle est la véritable exposition à la substance dans l'environnement ?

L'exposition à une substance donnée s'exprime en termes de *Dose Journalière d'Exposition (DJE) pour l'être humain et de concentration prévisible dans l'environnement (« Predicted Environmental Concentration » ou PEC)* pour l'environnement. L'évaluation des risques se fait ensuite en comparant le niveau d'effet nocif avec le niveau d'exposition.

Lorsque la Dose Journalière d'Exposition (DJE) est inférieure à la Dose Journalière Acceptable (DJA) pour les effets sur la santé (ou si la PEC est inférieure à la PNEC pour les effets sur l'environnement), il n'y a pas d'effet significatif pour l'être humain (ou pour l'environnement). Si par contre la dose journalière d'exposition est supérieure ou égale à la dose journalière acceptable (ou si la PEC est supérieure ou égale à la PNEC), alors on ne peut pas conclure à l'absence de risque et l'étude doit être affinée.

Cette méthode est utilisée en considérant les expositions aiguës et chroniques à la substance considérée.

L'écotoxicologie

L'écotoxicologie est l'étude des effets des substances sur les écosystèmes. Lors des tests d'écotoxicité, des organismes sont prélevés hors de leur environnement naturel et transférés en laboratoire où ils sont soumis à des concentrations diverses en une substance donnée.

On peut de cette manière déterminer :

- la concentration effective médiane (« Effect Concentration 50 % » ou EC50 ou CL50), à savoir la concentration à partir de laquelle on observe un effet négatif de la substance sur 50 % des organismes testés, comparativement aux *points limites biologiques* tels que la croissance ou la reproduction,
- ou encore la concentration sans effet observé (« No Observed Effect Concentration » ou NOEC), à savoir la concentration maximale au-dessous de laquelle on n'observe aucun effet négatif sur les organismes analysés.

Les valeurs EC50 et NOEC des divers organismes présents dans l'écosystème étudié servent ensuite à déterminer la valeur de la PNEC (concentration sans effet prévisible ou « Predicted No Effect Concentration »).

1. Pour les rejets gazeux à l'atmosphère, la méthode d'évaluation est semblable, seule la terminologie change : on utilise la concentration inhalée (CI) au lieu de la DJE et la valeur toxicologique de référence (VTR) au lieu de la DJA.

Annexe 8.6

Organismes d'expertise dans l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

L'IRSN, créé en 2002, est un Établissement public autonome placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. Sa mission concerne notamment la recherche et l'expertise dans les domaines de la sûreté des installations nucléaires, des transports et des déchets, de la protection de l'homme et de l'environnement.

L'Agence Nationale de SEcurité Sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)

Les questions de santé publique sont de plus en plus nombreuses (OGM, pesticides, qualité de l'eau…). Pour répondre aux attentes de la société civile, les organismes chargés de l'expertise sanitaire ont été restructurés en 2010. Ainsi, l'ANSES a été créée en fusionnant l'Agence françaises de la sécurité des aliments (AFSSA) et l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET).

Notons que, à la demande de l'autorité de sûreté nucléaire, l'AFSSET a procédé, de 2004 à 2007, à des audits sur le risque de prolifération des légionelles dans les circuits de refroidissement des centrales nucléaires équipées de tours aéroréfrigérantes. Les avis et les recommandations de l'AFSSET ont été rendus publics et sont consultables sur le site Internet de l'Agence.

L'Institut de Veille Sanitaire (InVS)

Créé en 1999, l'InVS est un établissement public de l'État, placé sous la tutelle du ministère chargé de la Santé. Il coordonne **la surveillance épidémiologique,** évalue **les risques sanitaires et** oriente **les mesures de maîtrise et de prévention.**

L'Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques (INERIS)

L'institut est un établissement public de recherche et d'expertise créé en 1990, placé sous la tutelle du ministère chargé de l'Écologie. Il a pour mission de contribuer à la réduction et à la prévention des risques que les activités industrielles font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, ainsi que sur l'environnement. L'Institut a créé un portail Internet fournissant les propriétés physico-chimiques, écotoxicologiques et toxicologiques d'un grand nombre de substances chimiques.

L'Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA ex-Cemagref)

IRSTEA (nouveau nom du Cemagref) est un organisme de recherche qui, depuis plus de 30 ans, travaille sur les enjeux majeurs d'une agriculture responsable et de l'aménagement durable des territoires, la gestion de l'eau et les risques associés, sécheresse, crues, inondations, l'étude des écosystèmes complexes et de la biodiversité dans leurs interrelations avec les activités humaines. Il effectue les campagnes de mesures hydroécologiques de certains sites fluviaux.

L'Institut FRançais pour l'Exploitation de la MER (IFREMER)

L'IFREMER est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) créé en 1984 et placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. Pour le compte d'EDF, il réalise les campagnes de mesures hydroécologiques des sites marins (Blayais, Flamanville, Penly, Paluel, Gravelines).

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA)

L'ONEMA a pour mission de développer les savoirs dans le domaine de l'eau. Il s'implique dans l'orientation des programmes de recherche et construit un partenariat de proximité avec les établissements de recherche. L'ONEMA assure le pilotage fonctionnel national du Système d'Information sur l'Eau (SIE). Il succède, depuis 2006, au Conseil Supérieur de la Pêche.

Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP)

Créé par la loi relative à la politique de santé publique du 9 août 2004, le Haut Conseil de la santé publique est une instance d'expertise qui reprend en les élargissant les missions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CHSPF) et celles du Haut Comité de la santé publique, siégeant respectivement depuis 1848 et 1991. Il a notamment pour mission se fournir aux pouvoirs publics des réflexions prospectives et des conseils sur les questions de santé publique.


©EDF – Beaucardet William





9 Surveillance de l'environnement

1. Introduction

La protection de l'environnement et du public au voisinage d'une centrale nucléaire repose avant toute chose sur la conception appropriée des installations et sur la rigueur d'exploitation au quotidien. C'est l'un des objectifs majeurs de la sûreté nucléaire visant à prévenir les incidents ou accidents et, le cas échéant, à limiter leurs effets sur l'environnement ou le public.

Lorsque la centrale est en fonctionnement, l'exploitant doit réglementairement assurer une *autosurveillance* de l'environnement dont les modalités sont directement liées à la nature des rejets et des prélèvements d'eau.

Cette surveillance consiste à prélever des échantillons, à des fins d'analyse, dans les écosystèmes proches de la centrale, sous les vents dominants, en amont et en aval des rejets liquides et dans les eaux souterraines. Ces mesures n'ont de sens qu'associées à un contrôle strict des rejets d'effluents. Ensemble, celles-ci permettent de s'assurer du respect de la réglementation et de la conformité des impacts aux prévisions faites dans l'étude d'impact initiale (*cf.* chapitre 8 du guide).

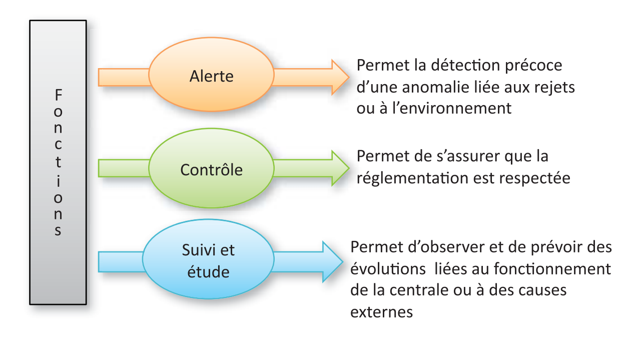
La surveillance de l'environnement remplit trois fonctions principales, à savoir (*cf.* fig. 1) :

- **une fonction d'alerte** assurée au moyen de mesures en continu. Elle permet la détection précoce de toute évolution anormale d'un ou plusieurs paramètres liés aux rejets ou à l'environnement afin de déclencher les investigations et, si nécessaire, les actions de prévention (arrêt du rejet…),
- **une fonction de contrôle** des paramètres que la réglementation demande de suivre au quotidien (routine). Les résultats des mesures sont comparés, soit aux limites à ne pas dépasser quand elles existent, soit à des valeurs repères (seuil de détection des appareils de mesure ou bruit de fond naturel),
- **une fonction de suivi et d'étude** visant à évaluer, dans la durée, les impacts des prélèvements et des rejets sur les écosystèmes terrestre et aquatique. C'est l'objet des campagnes de mesures saisonnières de radioécologie et d'hydroécologie.

Chaque centrale nucléaire réalise annuellement, sous le contrôle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), plusieurs dizaines de milliers d'analyses dont les résultats sont transmis à l'administration et utilisés dans les documents ou supports destinés au public.

En parallèle, l'ASN fait réaliser, pour son propre compte, des contrôles sur les rejets par un organisme indépendant de l'exploitant (*cf.* chapitre 11 du guide). Ce dispositif est complété par des **inspections** de l'ASN, inopinées ou non, pouvant donner lieu à des demandes de prélèvements et d'analyses dans les rejets ou dans l'environnement. Dans ce cadre, des échantillons peuvent être confiés aux Commissions Locales d'Information (CLI).

Fig. 1 ➜ Fonctions de la surveillance de l'environnement



Notions de « contrôle » et de « surveillance »

Le terme « ***surveillance*** » désigne généralement le suivi de paramètres indicateurs de la qualité des écosystèmes terrestre et aquatique. Alors que le « ***contrôle*** » concerne plutôt la vérification du respect d'une prescription réglementaire, notamment les limites autorisées. La première notion s'apparente davantage à *l'environnement* et la seconde aux *rejets d'effluents.*
Mais cette règle n'est pas absolue puisque, dans les textes réglementaires relatifs aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents des centrales nucléaires, il est indifféremment question de surveillance et de contrôle des rejets et de l'environnement. Dans la réglementation, les termes de *« surveillance »* et de *« contrôle »* peuvent prendre le sens que lui donne le dictionnaire, à savoir : *« surveillance = ensemble des actes par lesquels on exerce un contrôle suivi (Petit Robert 2007) ».*



Centrale nucléaire de Golfech (2 × 1300 MWe – 200 ha).

2. Surveillance de l'environnement au quotidien par l'exploitant

Des prélèvements et des analyses sont réalisés **quotidiennement** par l'exploitant selon les modalités fixées par les autorisations délivrées par l'administration.

Chaque centrale nucléaire dispose pour cela d'un laboratoire de contrôle des effluents dit laboratoire «Effluents » et d'un laboratoire de mesures de la radioactivité dans l'environnement dit laboratoire «Environnement ». L'exploitant dispose également de deux véhicules laboratoires utilisés pour les rondes quotidiennes dans l'environnement. Leur équipement en matériel de prélèvement d'échantillon et d'analyse est fixé en accord avec l'ASN.

La plupart des mesures sont effectuées par le personnel de ces deux laboratoires. Toutefois, certaines mesures particulières, telle que celle du carbone 14 sur l'herbe par exemple, peuvent être confiées, après accord de l'ASN, à des laboratoires extérieurs agréés.

2.1 Surveillance de l'air ambiant et du milieu terrestre

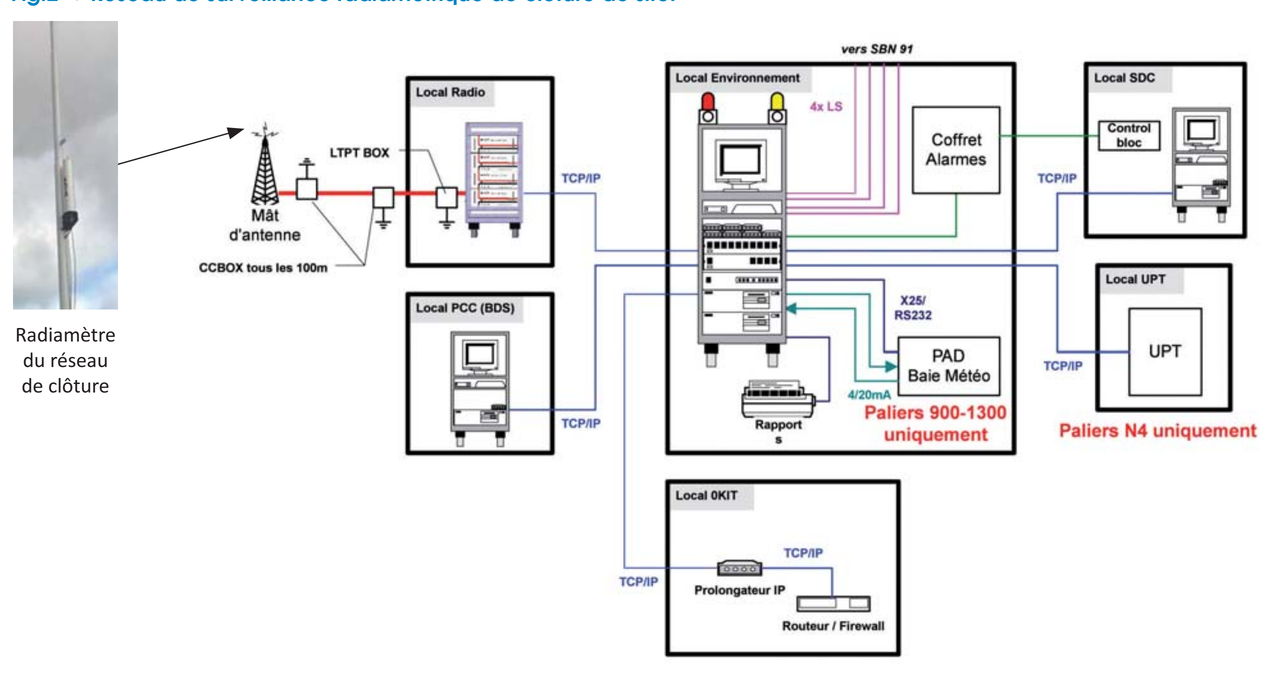
Fonction d'alerte

Cette fonction est assurée par :

- deux appareils à poste fixe pour la mesure en continu de la radioactivité « bêta globale » des rejets gazeux à la cheminée (*cf.* chapitres 7 et 10 du guide). Ces appareils redondants sont secourus électriquement. Ils émettent une alarme en salle de commande en cas de dépassement du seuil réglementaire fixé à 4 MBq/m^3,
- un réseau de radiamètres permettant de détecter, à chaque instant, toute augmentation anormale du débit de dose gamma de l'air ambiant. Ce réseau se compose d'appareils implantés en clôture de site (*cf.* fig. 2) ainsi qu'aux stations de prélèvements situées à 1 km et à 5 km. Le signal des balises radiamétriques de clôture et

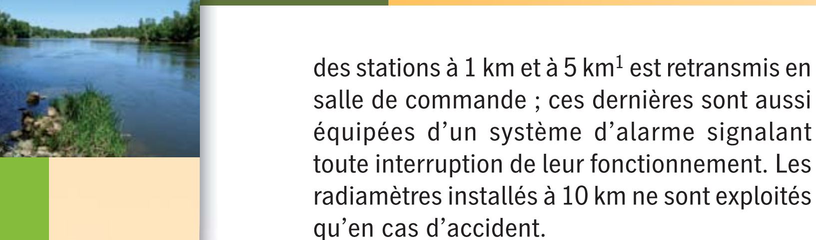


Fig.2 → Réseau de surveillance radiamétrique de clôture de site.



Système de collecte et de traitement du signal

1. Radiamètres : préalarme = bruit de fond + 0,1 µGy/h ; alerte environnement 0,35 µGy/h.



des stations à 1 km et à 5 km[1] est retransmis en salle de commande ; ces dernières sont aussi équipées d'un système d'alarme signalant toute interruption de leur fonctionnement. Les radiamètres installés à 10 km ne sont exploités qu'en cas d'accident.

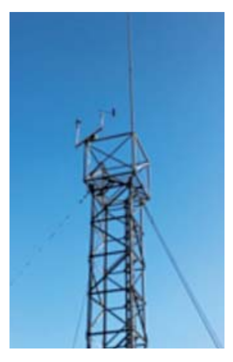
Fonction de contrôle

Les contrôles sont réalisés au niveau des stations à 1 km (dénommées Stations AS) – dont une est située sous les vents dominants (AS1). Les stations AS à 1 km sont pourvues, en plus des balises radiamétriques de la fonction « alerte » :

- de dispositifs de prélèvement de poussières atmosphériques pour la mesure de radioactivité bêta globale[2] d'origine artificielle qui ne doit pas dépasser 0,01 Bq/m^3 en moyenne hebdomadaire. Si la valeur journalière dépasse 0,002 Bq/m^3, une analyse par spectrométrie gamma est réalisée afin de connaître la nature des radionucléides en présence,
- d'un dispositif de prélèvement (barboteur) à la station AS1 pour la mesure du tritium dans l'air ambiant dont la radioactivité doit rester inférieure à 50 Bq/m^3,
- d'un collecteur d'eau de pluie pour la mesure de la radioactivité (^{3}H, β globale).

Des analyses sont également effectuées sur l'herbe (β globale, ^{40}K, ^{14}C, spectro γ) et sur du lait, collecté auprès d'une ferme locale, pour la mesure du carbone 14, potassium 40 et du strontium 90.

Chaque centrale nucléaire est équipée, par ailleurs, d'une station météorologique permettant de mesurer et d'enregistrer vitesse et direction du vent (à 10 mètres et à hauteur des rejets), pression atmosphérique, température et hygrométrie de l'air et pluviométrie.



Mât météo.



Station de contrôle des poussières atmosphériques. Centrale nucléaire de Fessenheim.

2.2 Surveillance des eaux de surface

Fonction d'alerte

Une mesure de radioactivité gamma globale est effectuée en continu sur la canalisation de rejet des effluents radioactifs avant leur déversement dans les eaux de refroidissement venant des condenseurs. Une alarme dont le seuil est réglé à 40 kBq/L est activée par deux chaînes de mesure. Le dépassement du seuil provoque automatiquement l'arrêt du rejet par fermeture de la vanne d'isolement située sur la canalisation.

Fonction de contrôle sur les sites en bord de rivière

Les sites en bord de rivière sont équipés de trois types de matériels.

1) Deux dispositifs de prélèvements d'échantillons (**hydrocollecteurs**) sont situés en amont, et en aval du site pour la mesure de radioactivité (activités volumiques en ^{3}H et en bêta globale hors ^{3}H et ^{40}K). Ces hydrocollecteurs automatiques permettent de prélever des échantillons à partir desquels seront analysés les paramètres réglementés en valeurs horaires ou moyennes journalières (*cf.* encart).

2) Une station de mesure du **débit du cours d'eau** équipe chaque centrale. La connaissance du débit du cours d'eau est indispensable à l'exécution du rejet. Ainsi, les rejets radioactifs ne peuvent être réalisés que dans la plage de débit autorisée par la réglementation.

Les stations de mesure sont de deux types :

- les premières mesurent le débit au droit des usines hydroélectriques (Rhône, Rhin) lorsqu'il en existe à proximité,
- les secondes sont des limnimètres (mesures de niveau) implantés aux endroits adéquats, souvent en amont des seuils construits pour les prises d'eau.

Les mesures de débit ou de niveau sont retransmises en temps réel en salle de commande de la centrale. Les mesures de niveau sont converties en débit au moyen d'un abaque de correspondance « niveau-débit ». Les stations limnimétriques nécessitent un contrôle périodique de validité des courbes de correspondance.

3) Trois stations de **mesures physico-chimiques** (dites stations multiparamètres) sont installées dans l'émissaire de rejet principal ainsi qu'en amont du site et en aval. L'implantation de la station aval est définie en accord avec l'administration et résulte des études de dilution effectuées sur modèles réduits, à l'aide de traceurs ou de modèles numériques.

1. La mesure est réalisée 5 jours après le prélèvement (mesure dite à J+6) pour s'affranchir de la radioactivité naturelle due principalement au radon.

Extrait de l'arrêté du 8 juillet 2008 du CNPE de Tricastin : 4 unités de 900 MWe

(décision ASN n° 2008-DC-0101 du 13 mai 2008).

Art. 17 IV - Les rejets d'effluents radioactifs liquides en provenance des réservoirs T et S sont autorisés lorsque les deux conditions suivantes sont remplies :

- le débit du canal de Donzère-Mondragon est compris entre 400 m^3/s et 2000 m^3/s,
- le débit du Rhône mesuré à Caderousse est inférieur à 4000 m^3/s.

Lorsque le débit du canal de Donzère-Mondragon est compris entre 200 et 400 m^3/s, ou lorsque le débit du Rhône est compris entre 4000 et 4500 m^3/s, les rejets sont soumis à l'accord préalable de l'ASN.

Art.17 V - L'activité volumique mesurée dans l'environnement selon les conditions de prélèvement visées à l'article 22 n'excède pas les limites suivantes :

Paramètres	Activité volumique horaire à mi-rejet (Bq/L)	Activité volumique moyenne journalière (Bq/L)
Tritium	280	140*
Émetteurs bêta hors ^{40}K et ^{3}H	2	-

L'activité volumique moyenne journalière est ramenée à 100 Bq/L en l'absence de rejet.

Art. 22 I – Si les résultats des mesures atteignent les niveaux en activité volumique mentionnés dans le tableau ci-dessous, l'exploitant suspend le rejet éventuellement en cours et réalise les examens complémentaires suivants :

- mesure sur le prélèvement en amont de la centrale pour rechercher l'origine de la pollution,
- s'il s'avère que les rejets de la centrale peuvent être à la source de la pollution, mesure du tritium sur chacun des prélèvements horaires mentionnés au paragraphe I du présent article,
- spectrométrie gamma du ou des échantillons incriminés.

La reprise éventuelle du rejet ne peut être effective qu'à l'issue de ces investigations.

Paramètres	Activité volumique (Bq/l) en valeur moyenne journalière	
	En cas de rejet en cours	En l'absence de rejet
Tritium	140	100

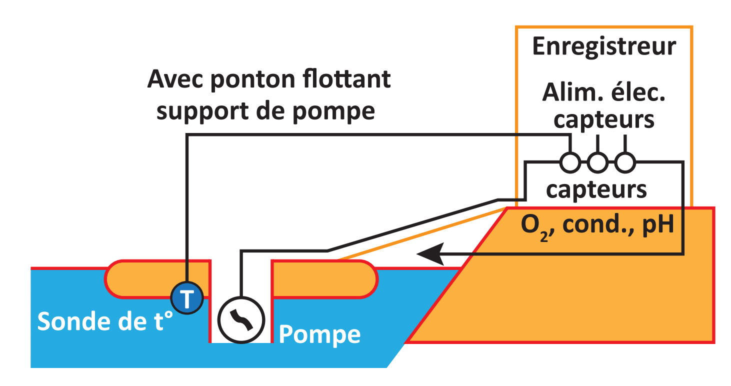
À chaque station, une **mesure en continu** de température, d'oxygène dissous, de conductivité et de pH est réalisée (*cf.* fig. 3). Les données fournies sont traitées par ordinateur afin d'établir les données horaires, moyennes, valeurs maximales et minimales communiquées mensuellement à l'administration et intégrées dans le rapport annuel « Environnement » de la centrale.

Ces mesures de température servent au contrôle des rejets thermiques (*cf.* chapitre 7 §5 du guide). Mais elles sont aussi exploitées pour connaître les évolutions de la température du cours d'eau en amont et en l'aval de la centrale.

Ces chroniques de température permettent en particulier d'apprécier la dispersion des rejets thermiques au regard d'autres facteurs tels que le changement climatique ou les modifications morphologiques du cours d'eau.

Lorsqu'il existe une station de production d'eau potable en aval d'une centrale nucléaire qui pratique le traitement biocide des circuits de refroidissement (ex. Golfech), l'exploitant définit en liaison avec l'administration locale, un programme particulier de surveillance de la qualité des eaux de surface pour la période de traitement.

Fig. 3 ➜ Exemples de stations multiparamètres.





Armoire de mesure

Extrait de l'arrêté du 15 février 2008 du CNPE de Penly : 2 unités de 1300 MWe (décision ASN n° 2008-DC-0090).

Art. 5 - Rejets des effluents radioactifs

L'activité volumique mesurée dans l'environnement n'excède pas les limites suivantes

Paramètres	Activité volumique horaire à mi-rejet (Bq/L)	Activité volumique moyenne journalière (Bq/L)
Tritium	1800	900 (1)
Émetteurs bêta hors potassium 40 et tritium	18	-

(1) L'activité volumique moyenne journalière est ramenée à 100 Bq/L en l'absence de rejets radioactifs.

Fonction de contrôle sur les sites en bord de mer

Contrairement aux rivières où l'écoulement s'effectue toujours de l'amont vers l'aval, les courants marins changent en permanence selon les marées. Sur l'estuaire de la Gironde, la marée agit aussi fortement sur le courant au droit de la centrale du Blayais. Pour ces raisons, les modalités de contrôle et de surveillance présentent des différences avec celles d'un site en bord de rivière.

Sur les centrales marines et sur celle du Blayais, **les hydrocollecteurs** d'échantillons sont situés :

- dans la prise d'eau de mer ; endroit non influencé par les rejets de la centrale (équivalent de l'amont sur un site de rivière),
- dans l'émissaire de rejet principal censé représenter le milieu marin (chenal de rejet à Gravelines ; puits de rejet ou bassin de rejet pour les autres sites marins, déversoirs à la centrale du Blayais).

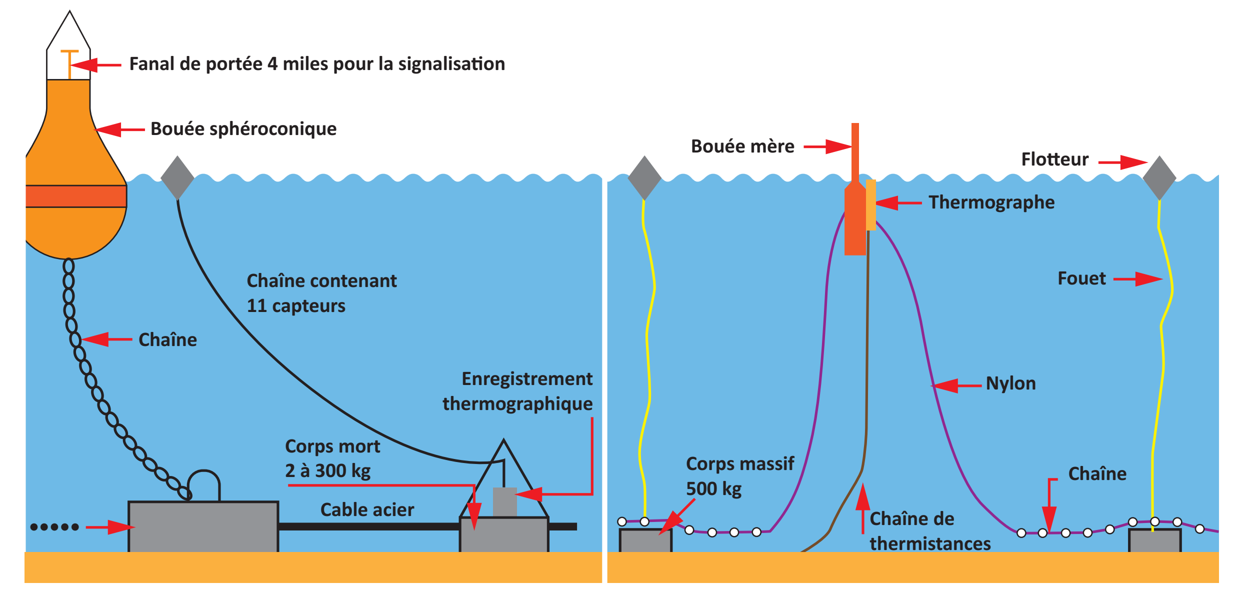
Sur ces prélèvements, sont effectuées les mesures réglementaires, notamment celles de radioactivité pour lesquelles des limites sont fixées dans l'arrêté d'autorisation (*cf.* encart).

Des **mesures physico-chimiques** sont réalisées en continu au niveau de la prise d'eau ainsi qu'aux points de rejet, notamment la mesure de température pour le contrôle des rejets thermiques. Des mesures chimiques et biologiques ponctuelles servent à calculer les flux de substances chimiques rejetées (*cf.* chapitre 7 du guide).

Pour ce qui est des **rejets thermiques** des centrales marines et en estuaire, leur contrôle peut être effectué de plusieurs façons, selon les sites :

- par calcul à partir d'un modèle de dispersion des eaux tièdes dans la mer,
- par des campagnes annuelles comportant des relevés de température à des endroits définis dans l'arrêté d'autorisation (*cf.* §3.2),
- par des mesures thermographiques (*cf.* fig. 4),
- par des contrôles périodiques par thermographie aérienne « infrarouge ».

Fig. 4 ➔ Schéma des thermographes



Cas de la centrale du Blayais (4 unités de 900 MWe sur la Gironde)

Les ouvrages de rejet des eaux des condenseurs refroidis en circuits ouverts et des effluents radioactifs et chimiques de la centrale du Blayais, sont communs à 2 réacteurs. De ces ouvrages, partent deux grosses canalisations débouchant au milieu de l'estuaire.

Sur chaque canalisation de rejet, un endroit est prévu pour effectuer les prélèvements nécessaires à la mise en œuvre du programme de contrôle et de surveillance défini dans l'arrêté d'autorisation. Ces points sont implantés de sorte à permettre la réalisation de mesures représentatives de l'effluent rejeté.

Les modalités de contrôle des rejets radioactifs sont semblables à celles d'un site marin. S'agissant des rejets thermiques, les températures sont mesurées, sur des périodes de trois heures consécutives, par des thermographes implantés dans les arrivées d'eau de Gironde et au milieu de l'estuaire dans le champ proche des rejets. Ces mesures sont retransmises en salle de commande.

Par ailleurs, le déplacement des bancs de sables dans l'estuaire de la Gironde conduit à un ensablement des prises d'eau et des zones proches des rejets qui nécessitent la réalisation de dragages fréquents (*cf.* chapitre 6 du guide).

2.3 Surveillance des eaux de pluie et eaux usées

Le réseau de collecte des eaux de pluie et usées (SEO) fait l'objet d'une surveillance de l'état de propreté radiologique. Un prélèvement est effectué chaque semaine pour y analyser l'activité β globale et tritium. Par ailleurs, des sacs de sable, destinés à piéger l'éventuelle contamination, sont disposés en plusieurs endroits du circuit et sont analysés par spectrométrie γ une fois par an.

2.4 Surveillance des eaux souterraines

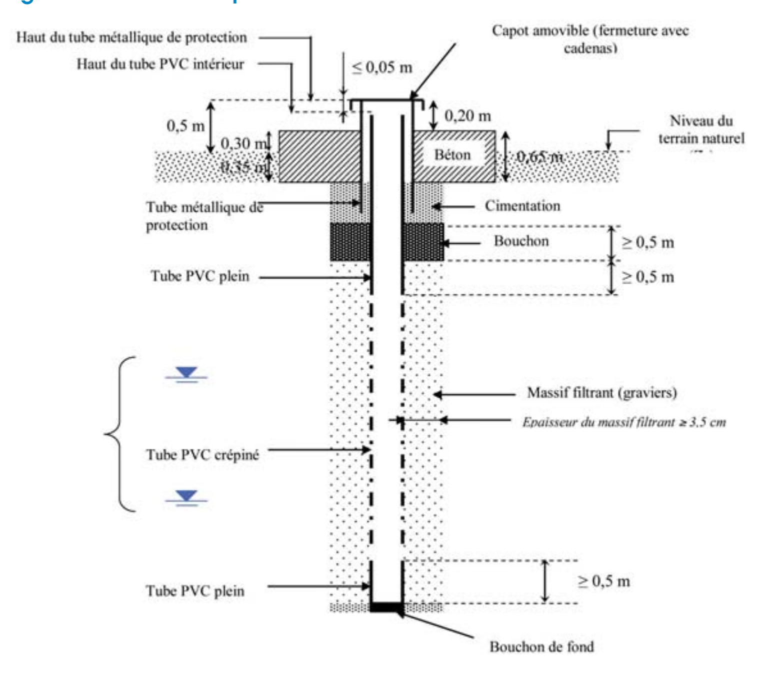
Les eaux souterraines situées au droit des centrales nucléaires font l'objet de mesures de surveillance. Aucun rejet de quelque nature qu'il soit n'est autorisé dans ces eaux. La présence éventuelle - à un niveau supérieur au bruit de fond naturel - de substances radioactives ou chimiques dans les eaux souterraines ne peut être le fait que d'événements anormaux que l'exploitant doit analyser.

Logique de prévention des pollutions

La prévention contre la dissémination de substances chimiques ou radioactives dans les eaux souterraines et des sols repose sur la logique dite de *«défense en profondeur»* qui se traduit par :

- l'application de règles de prévention (bonne maîtrise des opérations d'exploitation, bonne gestion des effluents, de leur transfert, de leur stockage avant rejet),
- le maintien en conformité des dispositifs de protection assurant une barrière entre les circuits contenant ou véhiculant des substances radioactives ou chimiques et l'environnement, (bon entretien des ouvrages tels que puisards, rétentions, aires de dépotage, étanchéité des canalisations…),
- le maintien de la propreté radiologique surfacique des sols,
- la surveillance des eaux souterraines au travers de mesures réalisées sur des prélèvements d'eau.

Fig. 5 ➜ Schéma d'un piézomètre





Piézomètre



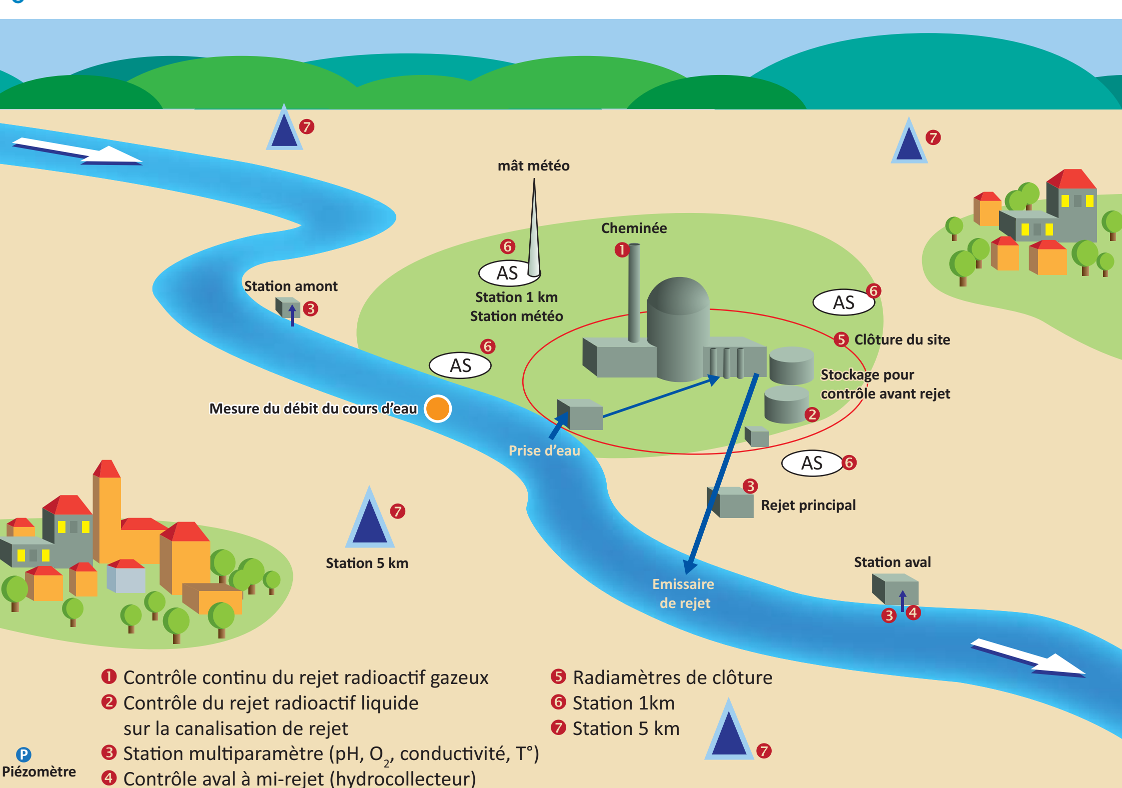
Mesures de surveillance

À des fins d'analyses, des prélèvements d'eau souterraine sont réalisés dans des puits dits piézométriques creusés à cet effet (*cf.* fig. 5). L'emplacement des points de prélèvement est choisi de sorte à pouvoir identifier le plus rapidement possible toute source de dissémination. Ainsi, des puits sont forés à proximité des réservoirs d'entreposage des effluents radioactifs (réservoirs T), des citernes de gasoil, des cuves contenant des substances chimiques (eau de javel, ammoniaque, acide). Le nombre de puits est variable et peut comporter jusqu'à une vingtaine de points voire davantage selon les sites et font l'objet d'une surveillance dite « optimisée ». Sur les prélèvements d'eau requis par la réglementation, des mesures de radioactivité (tritium, activité bêta global) et des mesures chimiques (hydrocarbures, …) sont effectuées tous les mois. Les résultats sont reportés sur le registre réglementaire transmis mensuellement à l'ASN.

2.5 Points de surveillance de l'environnement

L'ensemble des points de contrôles et de surveillance sont représentés sur la figure 6 ci-après pour une centrale nucléaire en bord de rivière.

Fig. 6 ➜ Points de surveillance de l'environnement



3. Campagnes de mesures dans l'environnement

Aux mesures et contrôles pratiqués au quotidien, s'ajoutent des mesures saisonnières dont la finalité est de suivre certains paramètres pertinents (indicateurs) afin d'évaluer dans la durée l'impact du fonctionnement de la centrale sur l'environnement. Ce suivi porte sur la radioactivité des écosystèmes terrestre et aquatique (radioécologie) et sur la biologie du milieu aquatique (hydroécologie). Ces campagnes de mesures prescrites par la réglementation sont mises en œuvre, sous la responsabilité de l'exploitant, par des organismes ou laboratoires externes à la centrale (*cf.* chapitre 8 §3 du guide).

3.1 Campagnes de mesures radioécologiques

La radioécologie a pour objectif d'étudier l'impact des rejets radioactifs liquides et gazeux sur les écosystèmes terrestre et aquatique. Les campagnes

de mesure sont réalisées à différents stades de la vie de la centrale :

- avant le démarrage de celle-ci pour établir l'état initial de référence (point zéro),
- tous les dix ans de fonctionnement afin de tirer un **bilan** complet dit décennal de l'état des écosystèmes que l'on compare au point zéro,
- chaque année dans le cadre des **suivis** dits annuels mis en place depuis 1992 (*cf.* annexe 9.1).



Prélèvement d'herbe et de lait Centrale nucléaire de Flamanville

Campagne de prélèvements à la centrale nucléaire de St-Alban – IRSN.

Pour ce qui est des suivis annuels et des bilans décennaux, les campagnes sont effectuées entre mai et octobre, période où la végétation est active. Les échantillons sont prélevés dans des « compartiments » connus pour leur faculté à intégrer les substances radioactives (mousses terrestres et aquatiques, sols, sédiments…) et sur des maillons de la chaîne alimentaire (lait, légumes, poissons, eau de boisson). Sur ces échantillons sont réalisées des analyses physico-chimiques (granulométrie, teneur en carbone, taux de matière sèche…) et radiochimiques (spectrométrie gamma, mesures du tritium libre et organique, mesures du carbone 14…).

Les échantillons surnuméraires sont conservés dans une banque d'échantillons. Ils pourront, le cas échéant, être analysés pour confirmer ou infirmer certains résultats, voire pour rechercher *a posteriori* la présence d'un radionucléide donné.

La radioécologie nécessite des connaissances scientifiques approfondies des comportements des écosystèmes vis-à-vis de la radioactivité. Elle fait aussi appel à des techniques de prélèvement d'échantillons et d'analyse complexes qui sont très éloignées de celles utilisées par l'exploitant au quotidien pour surveiller l'environnement. Ces études de surveillance radioécologique sont donc confiées à des laboratoires extérieurs reconnus pour leurs compétences dans ce domaine.

Les résultats des campagnes de mesures sont intégrés dans une base de données informatique et sont annexés au rapport annuel « Environnement ».

La connaissance acquise au fil du temps a permis d'optimiser la logique d'échantillonnage des campagnes de radioécologie afin d'obtenir une image la plus représentative possible du niveau de radioactivité autour d'une centrale nucléaire, tout en limitant les différents types d'échantillons, les lieux de prélèvement et les mesures.

3.2 Campagnes de mesures hydroécologiques

Dans le milieu aquatique marin ou de rivière, les prélèvements sont réalisés à l'occasion de plusieurs campagnes réparties sur l'année. Comme pour la radioécologie, les campagnes d'hydroécologie sont confiées à des organismes scientifiques spécialisés (IFREMER pour les sites marins), à l'IRSTEA (ex Cemagref) ou à des Universités ayant développé des compétences dans ce domaine.

Les campagnes comprennent notamment des mesures physico-chimiques et des prélèvements sur certains compartiments biologiques (poissons, phyto- et zoo-plancton, macrophytes, macro-invertébrés benthiques) ainsi que des calculs d'indices de qualité biologique (indice biotique, indice de biodiversité). Des inventaires de poissons sont aussi établis sur tous les cours d'eau, en général au printemps et à l'automne, à partir de campagnes de pêche électrique. Cet inventaire permet de définir la composition faunistique, l'évolution temporelle du peuplement.

Le suivi d'indicateurs biologiques s'avère très utile car il fournit une image pertinente de l'état global de l'écosystème aquatique et permet aussi de mettre en évidence des évolutions liées au climat.

Le programme de surveillance d'hydroécologie est établi en accord avec l'ASN et le service chargé de la police de l'eau. Celui-ci précise en particulier l'emplacement, par rapport au rejet du site, des lieux de prélèvements, le type d'analyses à effectuer, ainsi que la périodicité correspondante (*cf.* annexes 9.2 et 9.3). Ce programme de surveillance peut, le cas échéant, être complété en cas de situation climatique exceptionnelle.



Campagne de mesures hydroécologiques à Paluel.

4. Transmission des résultats à l'ASN et à l'administration

Conformément aux exigences de la réglementation en vigueur , les résultats des mesures réalisées sur les prélèvements d'eau, les rejets et l'environnement font l'objet d'un **rapport mensuel** et d'un **rapport annuel** « Environnement » (*cf.* §5) transmis à l'ASN, au service de la police des eaux ainsi qu'aux administrations régionales (DREAL, ARS selon leur domaine de compétence).

Pour ce qui concerne les mesures de radioactivité effectuées tant sur les rejets que dans l'environnement, les résultats sont consignés, par l'exploitant, dans trois registres réglementaires adressés mensuellement à l'ASN ; le registre « Environnement » (*cf.* fig. 6), le registre « Rejets liquides » et celui sur les « Rejets gazeux ».

Par ailleurs, l'exploitant communique à l'ASN et au service de la police des eaux, les procédures analytiques et les méthodes de calculs utilisées pour vérifier les limites autorisées, en mentionnant et justifiant les incertitudes associées aux mesures réalisées.

Tout incident ou anomalie de fonctionnement fait l'objet d'une déclaration immédiate à l'ASN, à l'administration compétente et à la CLI, au titre des règles de déclaration des Evénements Significatifs pour l'Environnement (ESE).

En cas d'écart ou de défaut sur les appareils de prélèvement et de mesure, l'exploitant mentionne l'événement dans le registre réglementaire. Certaines situations peuvent relever de critères de déclaration d'un Evénement Intéressant l'Environnement (EIE).

Pour chaque centrale, le nombre total d'événements déclarés au titre des ESE ou des EIE représente en moyenne, moins de 1 à 2 ESE par réacteur et de l'ordre de 4 EIE par réacteur sur une année. Parmi ces derniers, les événements liés au contrôle et à la surveillance de l'environnement sont peu nombreux (environ 1 par réacteur). Ils sont principalement dus à des pertes ponctuelles des stations de surveillance en continu de l'environnement.

Fig. 6 ➜ Registre réglementaire relatif à l'environnement

ENVIRONNEMENT - SITE DE PRODUCTION NUCLEAIRE - Réacteurs - Mois de Page

(Propriété de l'OPRI - Reproduction et diffusion du registre interdites)

A - AIR AU SOL (1)

Prélèvement		Activités volumiques βT - Bq/m³				
		AS 1		AS 2	AS 3	AS 4
Numéro	Date	J+1	J+6	J+6	J+6	J+6
1		2	3	4	5	6
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
Moyennes :						
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
Moyennes :						
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					
	21					
Moyennes :						
	22					
	23					
	24					
	25					
	26					
	27					
	28					
	29					
	30					
	31					
Moyennes :						
Moyennes mensuelles :						

Activités volumiques βT (J+1) - Bq/m³			
Station	AS 2 (7)	AS 3 (8)	AS 4 (9)
Date			
Activité minimale			
Date			
Activité maximale			

OBSERVATIONS

B - EAUX RECEPTRICES : (1)

Prélèvement			Eau filtrée			Matières en suspension	
Numéro	Date	Heure	Act. vol. βT Bq/l	Potassium mg/l	Tritium Bq/l	Act. vol. βT Bq/l	Act. mas. βT Bq/g cendres
10	11	12	13	14	15	16	17

B - EAUX RECEPTRICES (suite)

Prélèvement			Eau filtrée			Matières en suspension	
Numéro	Date	Heure	Act. vol. βT Bq/l	Potassium mg/l	Tritium Bq/l	Act. vol. βT Bq/l	Act. mas. βT Bq/g cendres
10	11	12	13	14	15	16	17
Moyennes mensuelles :							

C - (1)

Prélèvement			Eau filtrée			Matières en suspension	
Numéro	Date	Heure	Act. vol. βT Bq/l	Potassium mg/l	Tritium Bq/l	Act. vol. βT Bq/l	Act. mas. βT Bq/g cendres
18	19	20	21	22	23	24	25

D - (1)

Prélèvement			Eau filtrée			Matières en suspension	
Numéro	Date	Heure	Act. vol. βT Bq/l	Potassium mg/l	Tritium Bq/l	Act. vol. βT Bq/l	Act. mas. βT Bq/g cendres
26	27	28	29	30	31	32	33

E - EAUX SOUTERRAINES (1)

Prélèvement			Eau filtrée			Matières en suspension	
Lieu	Numéro	Date	Act. vol. βT Bq/l	Potassium mg/l	Tritium Bq/l	Act. vol. βT Bq/l	Act. mas. βT Bq/g cendres
	34	35	36	37	38	39	40
N1							
N2							
N3							
N4							
N5							

F - ENREGISTREMENT DU RAYONNEMENT γ AMBIANT (1)

Lieu	Numéro	Période du au	Débit de dose en microgray/heure maximal	Débit de dose en microgray/heure moyen
	41	42	43	44
D1				
D2				
D3				
D4				

G - PRECIPITATIONS PMI (1)

Prélèvement Numéro	Prélèvement Période	Hauteur 1/10mm		Act. vol. βT Bq/l	Act. surf. βT GBq/km²
45	46	47	48	49	50

H - VEGETAUX (1)

Prélèvement Lieu	N°	Date	Nature	Act. mas. Bq/kg sec β (40K exclu)	137Cs
	51	52	53	54	55
V1					
V2					

I - LAITS (1)

Prélèvement Lieu	Numéro	Date	Act. vol. β (40K exclu) Bq/l
	56	57	58
L1			
L2			

Arrêté et transmis . . . pages et . . . annexes à l'OPRI le . . . . . . 199. . à . . . . h.

Le Responsable chargé de la Radioprotection
Signature :

Le Chef du Site de Production Nucléaire
Signature et cachet :

(1) Points de prélèvement ou de mesure référencés, précisés sur la carte du site fournie lors de l'envoi des premiers résultats.

5. Communication des résultats au public

Les résultats de la surveillance de l'environnement font l'objet du rapport annuel « Environnement ». Ce rapport établi par l'exploitant contient notamment :
- le rappel des principales dispositions réglementaires s'appliquant à la centrale en particulier les limites autorisées,
- le bilan des prélèvements d'eau effectués,
- l'état des rejets radioactifs, chimiques, thermiques avec leur répartition mensuelle en activité (Bq), en flux (kg), en température ou en échauffement du milieu aquatique,
- l'estimation, de façon aussi réaliste que possible, des doses reçues par la population au cours de l'année écoulée,
- la description des opérations de maintenance des équipements et ouvrages de prélèvements d'eau et de rejets,
- la description des événements, incidents ou anomalies de fonctionnement ayant conduit à des dépassements de limites autorisées ou à des rejets incontrôlés (fuites, déversements, ...), ainsi que les mesures correctives prises par l'exploitant,
- la mise en perspective des résultats sur plusieurs années afin de mettre en évidence d'éventuelles évolutions,
- les actions réalisées par l'exploitant en faveur de la protection de l'environnement,
- une annexe avec les rapports scientifiques (rapports de radioécologie, hydroécologie…) et les tableaux des résultats bruts.

En ce qui concerne la radioactivité, les résultats des mesures pratiquées dans le cadre de la surveillance de l'environnement sont transmis au **Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM)** qui est accessible au public par Internet depuis février 2010 (*cf.* encart).

Des données d'environnement issus de la surveillance sont aussi utilisées dans le rapport dit « TSN » destiné au public (*cf.* chapitre 4 du guide).

Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM)

http://www. mesure-radioactivité.fr

À l'occasion de la transposition de la directive européenne 96/29 sur la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants, le décret n° 2002-460 du 4 avril 2002 institue le Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'Environnement (RNM) dans le code de la santé publique.

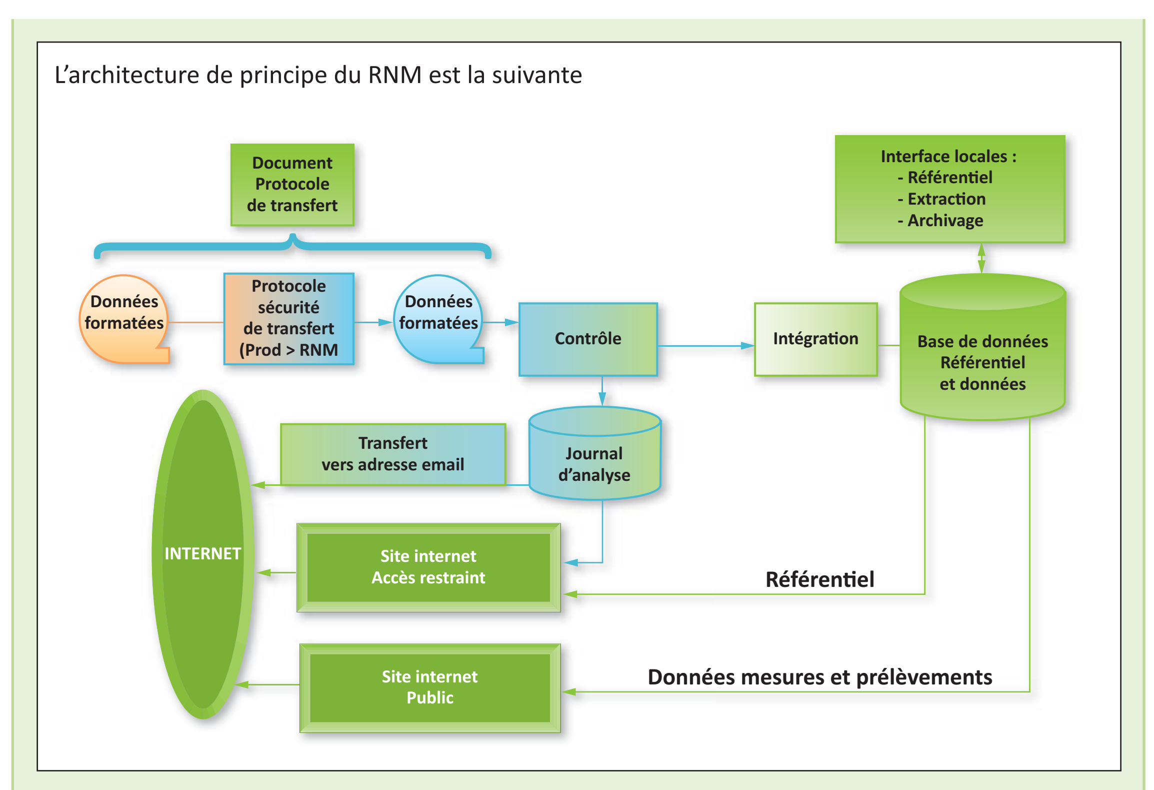
Transcrit par l'article R. 1333-11 du Code de la santé publique, ce réseau a pour objectifs de :
- grouper les informations sur la radioactivité de l'environnement en France,
- faciliter l'accès de tous les publics aux résultats des mesures tout en renforçant l'harmonisation et la qualité des mesures effectuées par les laboratoires.

Le Réseau fonctionne sous l'égide de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en coordination avec l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et les autres acteurs tels que les représentants des principaux ministères concernés, les agences sanitaires, les industriels du nucléaire, les associations de protection de l'environnement et les consommateurs.

Afin d'être autorisés à alimenter le réseau, les laboratoires doivent être agréés pour chaque mesure considérée. Cet agrément est délivré par l'ASN sur proposition d'une commission d'agrément qui examine notamment :
- la conformité des laboratoires aux dispositions d'assurance qualité de la norme NF EN ISO/CEI 17025 applicable aux laboratoires d'analyses et d'essais. Le laboratoire ayant obtenu une reconnaissance d'accréditation 17025 par un organisme d'accréditation tel le COFRAC, est réputé satisfaire à cette condition,
- les résultats des essais d'inter-comparaison organisés par l'IRSN pour chaque mesure.

Les données sur la radioactivité de l'environnement rassemblent notamment les résultats des mesures réalisées par :
- les laboratoires des établissements (INB, centres de recherche, ...) soumis au respect des dispositions législatives ou réglementaires visant à évaluer les doses auxquelles la population est soumise,
- les laboratoires sollicités par les collectivités territoriales, des services de l' état des Commissions locales d'information,
- tout organisme public, privé ou associatif dès lors que les laboratoires ont obtenu les agréments nécessaires de l'ASN.

L'architecture de principe du RNM est la suivante



Ce réseau a été ouvert au public en février 2010. Il se substitue au système d'information par Minitel « MAGNUC » mis en place en 1989.

Bibliographie

- EDF, Hydrobiologie appliquée Tome 16, 2008.
- ASN, Revue Contrôle n° 177, les rejets radioactifs en France, novembre 2007.
- ASN, Revue Contrôle n° 188 juin 2010 sur la surveillance de la radioactivité dans l'environnement.
- SFRP : Journées des 22–24 septembre 2008 sur la surveillance de l'environnement.

Annexe 9.1

Surveillance de la radioactivité dans l'environnement

Surveillance de la radioactivité au quotidien			
Environnement	**Point surveillé**	**Nature des prélèvements et des mesures**	**Fréquence**
Écosystème terrestre	Air au niveau du sol	• prélèvements continus de poussières atmosphériques aux 4 stations situées à 1 km (dont une sous les vents dominants) pour mesure β globale voire spectrométrie γ si β globale > 2 mBq/m^3 • prélèvement continu d'air pour la mesure de tritium atmosphérique sous les vents dominants	• quotidienne • période réglementaire
	Rayonnement γ ambiant	• 10 radiamètres aux limites du site • 4 radiamètres à 1 km • 4 radiamètres à 5 km (3 sur les sites marins)	• en continu • en continu • en continu
	Pluie	• prélèvements à la station située sous les vents dominants pour mesures β globale, tritium et potassium 40	• mensuelle
	Sols	• couche superficielle des terres pour mesures β globale, potassium 40 et spectrométrie g	• annuelle
	Végétaux	• prélèvements d'herbe pour mesures β globale, potassium, spectrométrie γ, • prélèvements d'herbe pour mesures ^{14}C et carbone total	• mensuelle • trimestrielle
	Lait	• prélèvements pour mesure de strontium 90, potassium 40 • Prélèvements pour la mesure du ^{14}C	• mensuelle • annuelle
Écosystème aquatique	Milieu récepteur des rejets liquides	• prélèvements en amont et en aval à mi-rejet pour mesures β globale et tritium • prélèvements saisonniers lors des campagnes radioécologie	• à chaque rejet • annuelle
	Eaux souterraines	• prélèvement pour mesures β globale, tritium, potassium	• mensuelle

Campagne annuelle de radioécologie				
Environnement	**Point surveillé**	**Prélèvements**	**Mesures**	**Fréquence**
Écosystème terrestre	En fonction de la rose des vents locale : points sous et hors des vents dominants	Sols, indicateurs végétaux (mousses et lichens), cultures de plein champs, prairie, lait, eau de boisson	Spectrométrie gamma + mesure du tritium libre sur les eaux et le lait + ^{131}I sur les mousses	Annuelle
Écosystème aquatique continental	Amont, aval proche et aval lointain	Sédiments, végétaux aquatiques, poissons	Spectrométrie gamma + mesure du tritium libre sur les poissons (et/ou les végétaux aquatiques) + ^{131}I sur les végétaux aquatiques	Annuelle
Écosystème aquatique marin	En fonction de la zone de rejets et de la diffusion liquide	Sédiments, algues, poissons, mollusques et crustacés	Spectrométrie gamma + mesure du tritium libre sur les poissons (et/ou les algues) + ^{131}I sur les algues	Annuelle



Annexe 9.2

Programme de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de rivière

Nature des investigations		Objectifs	Nature de l'opération	Fréquence selon arrêté de rejet ou décision ASN
Aspect piscicole	**Examen du comportement des poissons (faune)**	Détection des anomalies dans l'allure générale des poissons et dans leur déplacement	Examens visuels : réaction de fuite, fréquentation de zones refuges, recherche ou non de nourriture, mortalité, …	1 à 3 campagnes par an
Aspect piscicole	**Campagne de surveillance ichtyologique (faune)**	Détection de perturbations sur la composition spécifique	Dénombrement des espèces et analyses des classes de taille amont - aval	2 à 3 campagnes par an
Aspect hydrobiologique	**Algues planctoniques (flore)**	Détection de perturbation sur la richesse spécifique détection de cyanobactéries	Identification et dénombrement amont - aval (identification de blooms algaux)	2 à 3 campagnes par an
Aspect hydrobiologique	**Zooplancton (faune)**	Détection de perturbation sur la richesse spécifique	Identification et dénombrement amont - aval	Mensuel ou 2 à 3 campagnes par an
Aspect hydrobiologique	**Périphyton**	Détection de perturbation sur la richesse spécifique et l'indice diatomique	Identification et dénombrement Calcul de l'indice diatomique amont - aval	2 à 3 campagnes par an
Aspect hydrobiologique	**Macro-invertébrés (faune)**	Détection de perturbation sur la richesse spécifique et l'indice de diversité	Identification et dénombrement Calcul de l'indice de diversité	2 à 4 campagnes par an
Analyses physicochimiques	**O2, t°, pH, conductivité**	Évaluation des variations quotidiennes de ces paramètres	Mesures en continu de ces paramètres amont – aval – rejet	En continu
Analyses physicochimiques	**DCO, DBO_5, NH_4+** **COT,TAC, MES, sels dissous, métaux, produits de conditionnement (bore, hydrazine, phosphates….)**	Évaluation de la toxicité éventuelle de la forme de l'ammoniac la plus pénalisante pour les poissons prélevés en amont et en aval		5 à 6 fois par an



Annexe 9.3

Programme de surveillance hydroécologique pour une centrale en bord de mer (cas de Penly)

Domaine marin	Nature des investigations		Objectifs	Fréquence
Domaine pélagique	**Analyses phytoplanctoniques**	Espèces : Biomasse chlorophyllienne Phaéopigments Production primaire	Détermination et dénombrement	3 campagnes par an
	Analyses zooplanctoniques	Zooplanctoniques (faune)	Détermination de l'abondance Suivi des taxons indicateurs Mesure du carbone et azote organique	3 campagnes par an
	Analyses microbiologiques	Germes totaux et revivifiables	Dénombrement	
		Souches de vibrions halophiles	Identification et dénombrement	3 campagnes par an
	Analyses physicochimiques	Température, salinité Substances chimiques (Hydrazine, morpholine, …)	Mesures	3 campagnes par an
Domaine benthique	**Peuplement vivant au fond de la mer**		Identification du peuplement pour évaluation des immersions de sédiments provenant des curages des ouvrages de prise et rejet d'eau	Tous les six ans dans la zone d'immersion
Domaine halieutique	**Analyses sur** **– Œufs et larves des poissons**	Sole, plie, limande, sprat, sardine	Densité méroplanctonique	4 campagnes par an
	Analyses sur **– Poissons** **– Crustacés**	Sole, plie, limande, sprat, sardine Crevette grise, étrille…	Densité et distribution par states et pourcentage par rapport à l'abondance totale des espèces	1 campagne par an


1



Métrologie environnementale



1. Introduction

Des dizaines de milliers de mesures sont réalisées chaque année par l'exploitant afin de contrôler les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents ainsi que pour surveiller l'environnement autour du site. Il s'agit aussi bien de mesures de radioactivité que de mesures physiques (température, débit), chimiques, biologiques voire microbiologiques. Toutes ces mesures font partie des prescriptions réglementaires que l'exploitant se doit de respecter en toute circonstance (*cf.* chapitre 5 du guide).

À cet égard, la réglementation exige notamment que :

- l'exploitant dispose de deux laboratoires, l'un pour les mesures sur les effluents radioactifs, l'autre pour les mesures de radioactivité dans l'environnement et du personnel compétent pour assurer les activités concernées,
- les appareils de mesure des laboratoires fassent l'objet de vérifications régulières ainsi que d'une maintenance périodique appropriée,
- certains dispositifs de prélèvement et appareils de mesure en continu soient doublés et que leur alimentation électrique soit secourue par batteries ou autres dispositifs.

Ces mesures ont une double finalité. Elles servent d'abord à vérifier le respect des limites fixées par la réglementation. Elles sont aussi utilisées pour évaluer l'impact des prélèvements d'eau et des rejets sur l'environnement et sur le public afin de s'assurer que celui-ci demeure toujours inférieur aux estimations présentées dans les dossiers de demande d'autorisation (*cf.* chapitres 5 et 8 du guide).

La qualité de l'échantillonnage et des analyses, dont dépend la fiabilité des résultats des mesures, passe par la mise en œuvre de méthodes analytiques normalisées – lorsqu'elles existent – ou dûment éprouvées. Elle implique aussi du personnel compétent et formé tant au fonctionnement des automates de mesure qu'aux techniques de laboratoire.

Dans ces conditions, les résultats obtenus peuvent être valablement comparés entre eux ou avec les mesures réalisées par les services de l'administration ou d'autres organismes indépendants de l'exploitant (intercomparaisons). Ils contribuent ainsi à fournir à l'administration et au public des informations crédibles sur les rejets et sur l'environnement (*cf.* chapitre 4 du guide).



Mesure du tritium par scintillation liquide.

2. Importance de l'échantillonnage en métrologie

La métrologie est la science de la mesure au sens le plus large. Elle permet d'exprimer une grandeur physique, chimique, biologique par une valeur numérique et une unité. La métrologie utilise un vocabulaire international normé qui permet de faciliter les échanges entre les différents acteurs (*cf.* §6).

Dans bien des cas, le phénomène que l'on veut évaluer par la mesure nécessite le prélèvement d'échantillons qui seront ensuite analysés **en laboratoire**. La pertinence du point de prélèvement, le traitement de l'échantillon avant analyse sont autant de paramètres qui peuvent influencer le résultat final. Il est donc essentiel que l'échantillonnage soit pratiqué suivant des protocoles bien précis ou selon des normes lorsqu'elles existent.

Lorsque, par exemple, la mesure est réalisée ***in situ*** (mesure de température ou de débit),

l'emplacement du point de mesure doit être judicieusement choisi pour obtenir un résultat le plus représentatif possible de la réalité. Si le milieu n'est pas homogène, il peut être nécessaire de prévoir plusieurs points de mesure.

Échantillonnage

Lors de la conception des installations, des points de prélèvement (piquages) sont prévus sur les circuits d'effluents liquides et gazeux. De ces piquages, partent des tuyauteries (lignes) qui acheminent les fluides vers différents locaux d'échantillonnage (local d'échantillonnage des effluents radioactifs, local d'échantillonnage des eaux du circuit secondaire…). Ces circuits sont conçus de manière à minimiser le parcours de l'effluent afin d'obtenir une prise d'échantillon la plus directe possible. Pour obtenir un échantillon représentatif, il est de règle de purger la ligne d'échantillonnage, le temps nécessaire, avant de procéder au prélèvement.



Hotte d'échantillonnage du circuit primaire : centrale nucléaire du Bugey

Pour ce qui est de l'air de ventilation rejeté aux cheminées, les dispositifs de prélèvement en continu (cannes) sont installés à des endroits permettant un prélèvement représentatif de l'effluent.

Dans les réservoirs de grande capacité (300 m^3, 500 m^3, 750 m^3, 1000 m^3), l'effluent est brassé avant échantillonnage. Le brassage est assuré par la mise en service de la pompe dite de recirculation qui équipe chaque réservoir. Plusieurs heures de brassage sont nécessaires pour homogénéiser le contenu du réservoir et obtenir un échantillon représentatif de son contenu.

Dans l'environnement, le choix des bioindicateurs et la technique de prélèvement de ceux-ci ainsi que leur traitement avant analyse sont déterminants pour la mesure. Ces opérations font l'objet de protocoles de prélèvements écrits (*cf.* §3.4).

Prélèvement ponctuel

Le prélèvement ponctuel est réalisé en un lieu donné pendant un court laps de temps, soit manuellement, soit par un automate programmé pour réaliser le prélèvement de façon cyclique (ex. hydrocollecteur situé en aval des rejets).

Prélèvement en continu

Le prélèvement continu est utilisé sur une période longue (journée, semaine voire trimestre) pour contrôler un rejet permanent comme, par exemple, le rejet des aérosols et des halogènes (iodes) radioactifs à la cheminée ou le rejet d'eau par l'émissaire principal de rejet ou des paramètres dans l'environnement (poussières atmosphériques, tritium gazeux, …). Les échantillons ainsi prélevés sont ensuite analysés en laboratoire. Dans certains cas, les dispositifs de prélèvement en continu sont équipés d'un appareil de mesure en continu (ex. stations multiparamètres, mesure de la radioactivité à la cheminée).

Prélèvement aliquote

(aliquote = qui est contenu un nombre exact de fois dans un tout)

Un échantillon aliquote est constitué d'un mélange de plusieurs prélèvements effectués par intermittence dans un effluent. À titre d'exemple, l'exploitant constitue mensuellement un échantillon aliquote à partir des prélèvements ponctuels effectués sur chaque réservoir (T, S et Ex…) rejeté dans le mois.





Laboratoire « Environnement » : salle de préparation d'échantillons.

3. Techniques de mesure de la radioactivité

Les mesures de radioactivité sur les effluents radioactifs liquides et gazeux et dans l'environnement concernent :

- la détection des radionucléides émetteurs de rayonnements « bêta » et « bêta/gamma » (*cf.* encart),
- la vérification de l'absence de radionucléides d'origine artificielle émettant des rayonnements alpha.

***Nota :** les rejets radioactifs d'une centrale nucléaire d'EDF ne comportent pas de substances émettant des neutrons. Ces derniers sont produits exclusivement par la fission nucléaire au sein du réacteur. Les techniques de mesures des neutrons ne sont donc pas abordées dans ce guide.*

3.1 Techniques de détection de la radioactivité

Il existe deux catégories de détecteurs :

- les **détecteurs physiques** tels que notamment les dosimètres thermoluminescents utilisés, il y a quelques années, pour mesurer le rayonnement gamma de l'air ambiant à la clôture des centrales nucléaires. Ces dosimètres ont été remplacés depuis par des détecteurs électroniques,
- les **détecteurs électroniques** qui nécessitent un circuit électronique pour le traitement du signal fourni. Ces détecteurs sont utilisés tant aux laboratoires « Effluents » et « Environnement » que dans les appareils de mesure installés à demeure sur les canalisations de rejet ou dans l'environnement.

Principe du dosimètre thermoluminescent

Le détecteur **thermoluminescent** est constitué d'une ou plusieurs pastilles cristallines (fluorure de lithium) placées dans une cavité fermée. Les rayonnements ionisants peuvent créer des défauts dans cette structure. Lorsque l'on chauffe le matériau, l'agitation thermique finit par supprimer ces défauts et la structure cristalline se rétablit. Au cours de ces «réparations», il y a émission d'une lumière, c'est le phénomène de thermoluminescence. La quantité de lumière restituée est proportionnelle à la dose reçue.

Principe de détection des détecteurs électroniques

Les rayonnements émis par les substances radioactives (alpha, bêta, gamma) interagissent avec la matière en produisant des particules chargées électriquement (ions) ou des déplacements d'électrons qui vont « exciter » les atomes de la matière. Le principe de détection de la radioactivité repose donc sur l'utilisation de ces phénomènes physiques d'ionisation et d'excitation des atomes.

***Nota :** les rayonnements alpha et bêta sont capables de provoquer directement des ionisations dans le détecteur du fait que celles-ci sont chargées électriquement. Ce n'est pas le cas du rayonnement gamma. Celui-ci étant neutre sur le plan électrique (photons de même nature que la lumière), il ne pourra être détecté par les phénomènes d'ionisation et d'excitation que s'il est préalablement converti en électrons par effet « Compton », effet photoélectrique ou création de paires. Ces trois effets se produisent presque toujours lorsque le rayonnement gamma rencontre la matière (air ambiant, liquide, solide).*

Détecteurs électroniques à ionisation gazeuse

Le détecteur comporte une enceinte contenant un gaz où règne un champ électrique. En pénétrant dans l'enceinte, les particules chargées électriquement provoquent des ionisations. Les électrons libérés lors des ionisations sont collectés par l'anode soumise à une tension électrique continue (quelques centaines de volts à plusieurs milliers de volts selon le type de détecteurs). Les ions ainsi collectés sont utilisés :

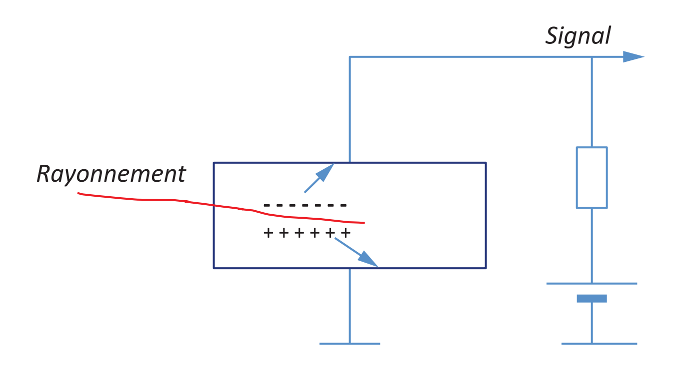
- soit comme un **courant électrique continu** donnant l'intensité du rayonnement pénétrant dans la chambre,
- soit sous forme d'impulsion de **tension électrique** dont l'amplitude est proportionnelle à l'énergie cédée par la particule. Dans ce cas, le compteur est utilisé comme spectromètre.

Ces détecteurs peuvent fonctionner sous différents régimes selon le niveau de tension appliqué aux bornes du détecteur.

- Lorsque le détecteur à gaz fonctionne sous basse tension (600 à 800 V), on dit qu'il s'agit d'une **chambre d'ionisation**. La tension électrique est toutefois suffisante pour collecter toutes les charges produites par ionisation,
- En régime dit « **compteur proportionnel** », le détecteur à gaz est alimenté par une tension plus élevée (zone de linéarité de 1400 à 1 800 V), ce qui a pour effet d'accélérer la collecte des ions et de provoquer ainsi une amplification des ionisations (jusqu'à un million de fois). Le signal de sortie est proportionnel aux nombres d'ions crées dans le détecteur,

- Si on applique une tension très élevée (~ 1 800 V), le passage d'un rayonnement déclenche une avalanche d'ions qui sont à leur tour accélérés par le champ électrique. Pour éviter une avalanche entretenue, on utilise un gaz de coupure qui a la propriété de se dissocier sans émettre de photons. Les détecteurs fonctionnant sous ce régime sont appelés **compteurs Geiger-Müller** (ou GM). Ils ont l'avantage de fournir un très grand signal de sortie, même quand l'ionisation initiale est faible ; par contre, l'amplitude de l'impulsion n'est pas proportionnelle à l'énergie du rayonnement.

Fig. 1 ➜ Principe de fonctionnement des détecteurs électroniques à ionisation gazeuse



Détecteurs à scintillation

Le compteur à scintillation se compose de deux parties :

- d'un scintillateur qui a la propriété d'émettre de la lumière (photons) lorsqu'il est traversé par un rayonnement ionisant,
- d'un photomultiplicateur qui transforme la lumière émise par le scintillateur en électrons puis en signal électrique.

Ce compteur est associé à une électronique pour l'amplification et la mise en forme du signal.

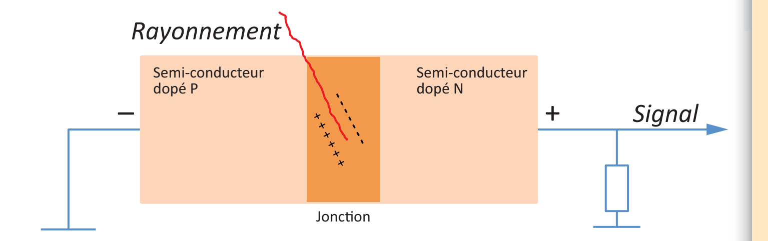
Les scintillateurs existent sous forme liquide, solide ou gazeuse. Les scintillateurs utilisés en centrale nucléaire se présentent sous forme de :

- cristal solide d'iodure de sodium dopé au thallium (NaITl) utilisé pour la plupart des mesures des émetteurs bêta/gamma (cobalts, césiums, iodes…),
- cristal de sulfure de zinc (ZnS) pour des mesures d'activité alpha,
- matière plastique utilisée en particulier pour la détection du rayonnement « bêta »,
- scintillant liquide pour la mesure de tritium et de carbone 14. Le tritium et le carbone 14 émettent uniquement un rayonnement de type bêta de faible énergie qui pénètre difficilement dans un détecteur solide. On résout le problème en mélangeant l'échantillon à mesurer avec un scintillateur liquide qui se trouve, de ce fait, à l'intérieur du détecteur.

Détecteurs à semi-conducteur

Le détecteur est une diode à semi-conducteur polarisée en inverse dans laquelle apparaît une zone (jonction) où règne un champ électrique collecteur. Lorsqu'une particule chargée pénètre dans cette zone, elle y crée des ions qui sont alors collectés par le champ électrique. La charge électrique ainsi recueillie donne naissance à une impulsion de tension qui caractérise l'énergie perdue par la particule. Les types de semi-conducteurs les plus utilisés sont le **silicium** et le **germanium**.

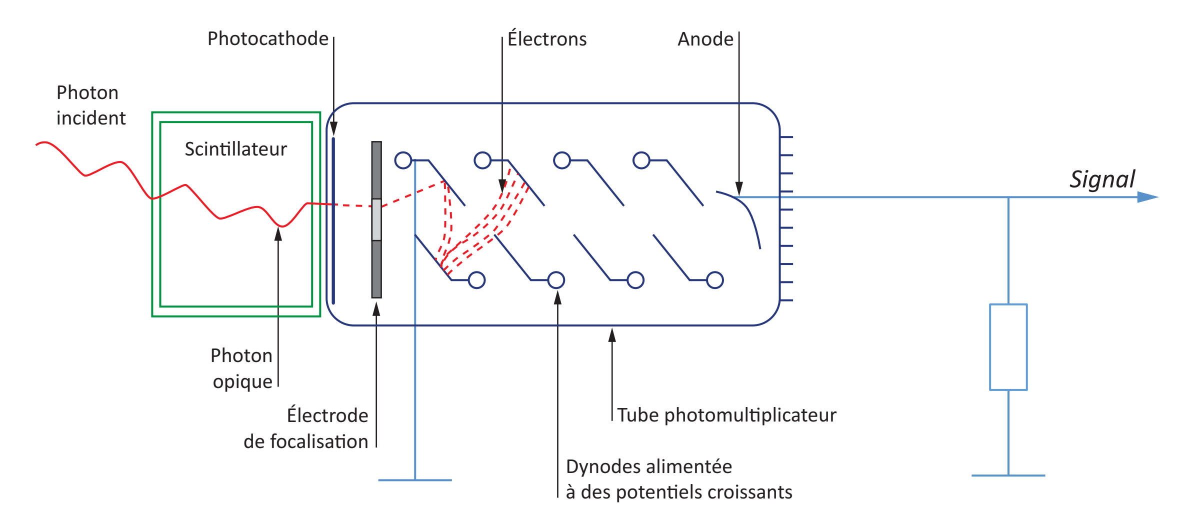
Fig. 3 ➜ Schéma de principe d'un détecteur à semi-conducteur

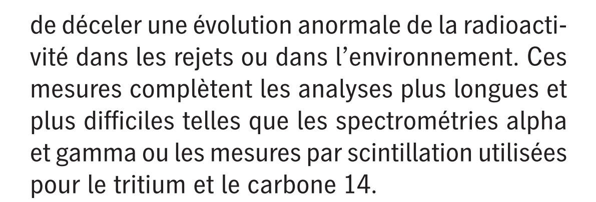


Mesures globales de radioactivité

Avant de réaliser des analyses par radionucléides, il est d'usage de procéder à des mesures dites « globales » qui sont simples et rapides permettant

Fig. 2 ➜ Principe d'un compteur à scintillation associé à un photomultiplicateur





de déceler une évolution anormale de la radioactivité dans les rejets ou dans l'environnement. Ces mesures complètent les analyses plus longues et plus difficiles telles que les spectrométries alpha et gamma ou les mesures par scintillation utilisées pour le tritium et le carbone 14.

Il existe trois types de mesures globales :

- ***L'activité alpha globale*** est fournie par un détecteur (ex. compteur proportionnel, scintillateur ZnS) dont l'étalonnage (rendement) est effectué au moyen d'une source d'Am 241 ou de Pu 239 (émetteurs alpha).
- ***L'activité bêta globale*** suit le principe de la mesure alpha globale à la différence de la source étalon qui est composée de Sr90 et d'Y90 (émetteurs bêta purs). Le compteur peut être de type compteur proportionnel ou compteur GM.
- ***L'activité gamma globale*** est mesurée au moyen d'un détecteur de type scintillateur NaI étalonné au césium 137 (émetteur bêta/gamma).

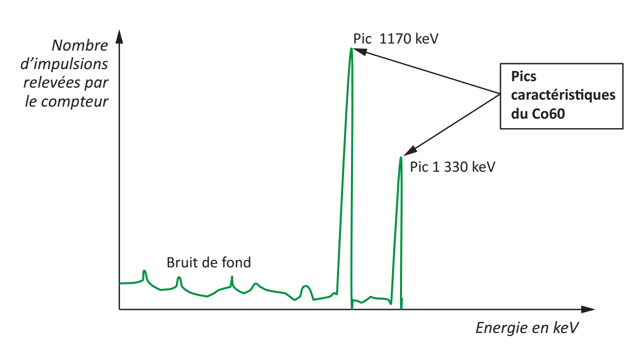
Spectrométrie

La mesure par spectrométrie permet d'identifier les composants d'un mélange radioactif et de déterminer l'activité de chaque radionucléide en mesurant l'énergie des différents rayonnements qui le caractérisent (spectre comportant des raies correspondant à l'énergie du rayonnement).

Cette technique ne peut être utilisée que pour les radionucléides émettant des particules **alpha** ou des **rayonnements gamma**. L'émission de particules « bêta » ne produit pas de spectre comportant des raies. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette technique pour les radionucléides émettant uniquement un rayonnement bêta, tels que le tritium et le carbone 14.



Fig. 4 ➜ Spectre d'émetteurs gamma

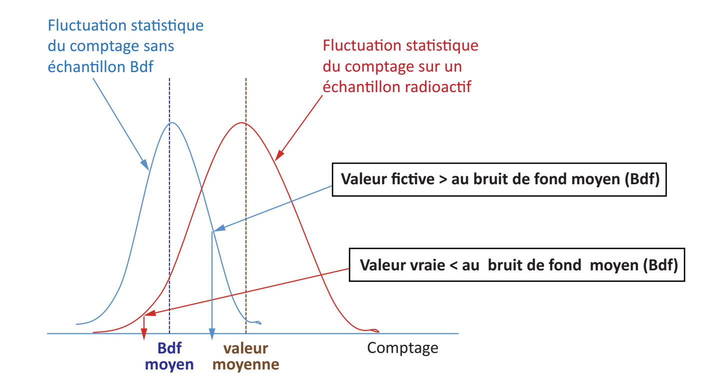


Incertitudes de la mesure, seuil de décision, limite de détection

Dans l'environnement voire dans les rejets, on a affaire à des niveaux de radioactivité très bas. Le signal obtenu pour la mesure est souvent indiscernable de celui du bruit de fond ambiant. On introduit alors des notions d'incertitudes, de Seuil de Décision (SD) et de Limite de Détection (LD).

- **L'incertitude systématique** peut être due à une erreur de lecture (parallaxe), un défaut de correction des facteurs influençant la mesure (température, humidité, pression, …), une erreur ou biais de calcul. Elle est difficile à évaluer.
- **L'incertitude aléatoire** est liée au caractère aléatoire du processus de désintégration radioactive. De ce fait, un comptage légèrement supérieur à la valeur moyenne du bruit de fond ne traduit pas forcément la présence de radioactivité, et un résultat légèrement inférieur à la valeur moyenne du bruit de fond ne garantit pas l'absence de radioactivité (*cf.* fig. 5).

Fig.5 ➜ Comptage du bruit de fond de l'appareil de mesure et d'un échantillon de très faible activité



Pour se prononcer, l'analyste fait appel aux notions de **seuil de décision** et de **limite de détection**.

- **Le Seuil de Décision (SD)**, exprimé en coups par minute, Bq/L ou Bq/m^3, correspond à une valeur de comptage à partir de laquelle on peut affirmer, avec une probabilité élevée (notion de risque α), que le paramètre ou radionucléide recherché est bien présent dans l'échantillon mesuré.
- **La Limite de Détection (LD)**, exprimée en coups par minute, Bq/L ou Bq/m^3, est la plus petite valeur d'activité à partir de laquelle on considère, avec une probabilité quantifiée (notion de risque β), que le paramètre ou radionucléide est détecté lors de la mesure (ou comptage). Elle est déduite du Seuil de Décision (SD) d'après des formules données par la norme ISO 11929.

3.2 Mesures de la radioactivité dans les effluents gazeux

Les mesures de radioactivité dans les effluents gazeux s'effectuent **avant** rejet dans les Réservoirs de Stockage pour décroissance radioactive (RS) ou dans l'air du Bâtiment Réacteur (BR) avant dépressurisation. Ces mesures sont réalisées au laboratoire « Effluents ».

Des mesures sont aussi pratiquées à la cheminée de rejet par des appareils de mesure en continu délivrant une information en temps réel

retransmise en salle de commande et à partir de prélèvements automatiques sur lesquels des mesures sont réalisées *a posteriori* en laboratoire.

Analyses en laboratoire des réservoirs d'entreposage avant rejet (RS) ou de l'air du Bâtiment Réacteur (BR)

Avant de procéder au rejet d'un réservoir (RS) ou de dépressuriser l'air du bâtiment du réacteur, plusieurs prélèvements d'échantillons sont effectués à des fins d'analyse par les circuits échantillonnage prévus à cet effet. Les échantillons sont acheminés au laboratoire « Effluents » où sont réalisées :

- des mesures d'activité **bêta globale** des aérosols par compteur proportionnel,
- **des spectrométries gamma** (scintillateur type NaITl ou de type GeHP ou de type plastique), des principaux gaz rares, des iodes 131 et 133 et des aérosols,
- une mesure par **scintillation liquide** du tritium gazeux,
- une mesure **alpha globale** d'origine artificielle avec un compteur proportionnel, par une méthode garantissant réglementairement un seuil de décision de 0,025 Bq/m^3 pour les vidanges de réservoirs RS et du Bâtiment Réacteur (BR) et un seuil de décisions de 0,001 Bq/m^3 pour les rejets permanents.



Scintillateur bêta pour la mesure du tritium (à gauche) et compteur proportionnel (à droite) au laboratoire « Effluents ».

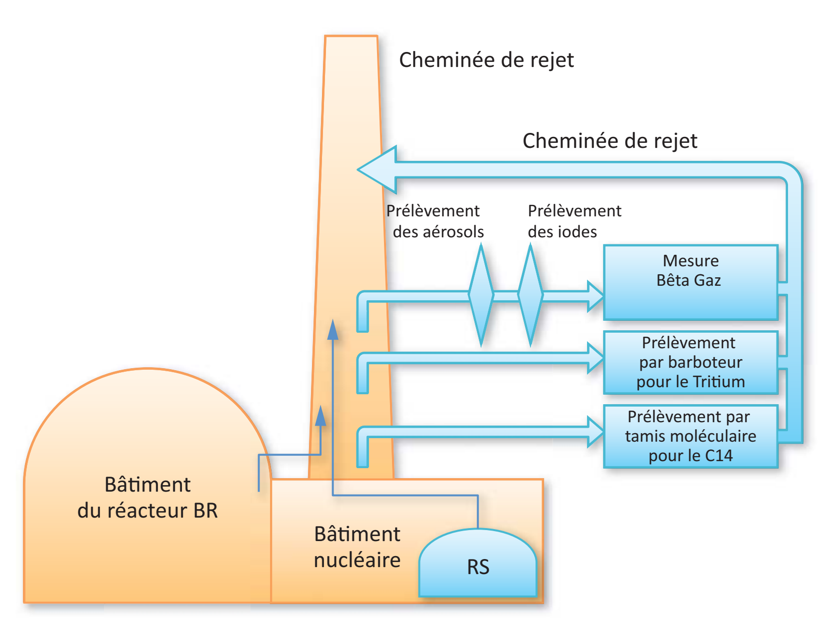
Prélèvements et mesures à la cheminée

Les mesures et prélèvements effectués au niveau de chacune des cheminées de la centrale nucléaire sont doublées et secourues électriquement afin d'assurer en toute circonstance le contrôle des rejets radioactifs gazeux par :

- la mesure en continu et enregistrée du débit d'air à la cheminée par sondes de pitot,
- la mesure en continu et enregistrée de l'activité « bêta gaz » de l'air rejeté au moyen d'un appareil composé de deux chambres d'ionisation différentielles (dite chaine KRT bêta gaz),
- le prélèvement en continu des aérosols sur filtre pour la mesure de l'activité bêta globale (compteur proportionnel), la détermination des principaux radionucléides (PF et PA) par spectrométrie g et la mesure a globale d'origine artificielle (compteur proportionnel) garantissant un seuil de décision de 0,001 Bq/m^3,
- le prélèvement des halogènes (iodes) sur cartouche à charbon actif pour la forme gazeuse et détermination des iodes 131 et 133 par spectrométrie γ, et sur filtre pour la forme particulaire et mesure de l'activité γ globale par scintillateur,
- le prélèvement du tritium par barboteur et mesure par scintillation liquide,
- le prélèvement du carbone 14 sur tamis moléculaires et mesure par scintillation liquide.

Les enregistrements du débit « cheminée » et de la mesure « bêta gaz» sont transmis, avec toutes les autres mesures effectuées, à l'ASN tous les mois afin de corréler débit et activité rejetée.

Fig. 6 ➜ Instrumentation pour le contrôle des rejets radioactifs gazeux à la cheminée



Activité « bêta » des gaz rejeté à la cheminée

La chaîne de mesure en continu se compose d'un dispositif de prélèvement (pompe) et de deux détecteurs qui sont des chambres d'ionisation fonctionnant par différence (chambres différentielles). L'air prélevé à la cheminée parcourt l'une des chambres qui mesure la radioactivité « bêta » des gaz ainsi que le rayonnement gamma ambiant. L'autre chambre, dite de compensation, ne mesure que le rayonnement gamma ambiant. Par différence des deux signaux, on obtient l'activité « bêta » des gaz contenus dans l'air de ventilation.



Chaîne de mesure bêta gaz à la cheminée : centrale du Bugey.

Tritium gazeux

L'air de ventilation est prélevé par un appareil fonctionnant par barbotage dans l'eau (barboteur). En traversant l'eau contenue dans les pots du barboteur, la vapeur d'eau tritiée est piégée. Quatre fois par mois (*cf.* chapitre 7 §3.2), l'eau des pots est retirée pour l'analyse du tritium par scintillation liquide au laboratoire « Effluents ». L'appareil de prélèvement automatique (barboteur) est équipé d'une régulation de température et de débit pour garantir une bonne représentativité et conservation de l'échantillon pendant la période de prélèvement. On évite ainsi toute évaporation de l'eau contenue dans les pots du barboteur.



Dispositif de prélèvement du tritium gazeux par barbotage.

Carbone 14 gazeux (*cf.* fig. 7)

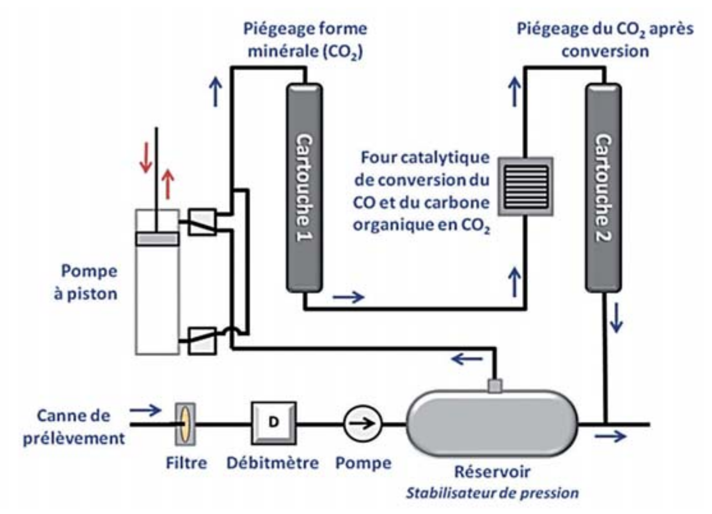
Le prélèvement d'air à la cheminée est orienté sur des tamis moléculaires. Ceux-ci retiennent le carbone 14 sous forme de gaz carbonique (CO_2). Un four catalytique est donc placé en amont des tamis pour transformer le ^{14}C organique (par ex. CH_4) en CO_2. Le dispositif de prélèvement est laissé en place pendant trois mois afin d'accumuler suffisamment de carbone 14 pour la mesure. La mesure du carbone 14 par scintillation liquide est complexe et nécessite des manipulations délicates pour extraire le carbone des tamis moléculaires où il s'est fixé. Cette mesure est confiée à des laboratoires externes.

Poussières atmosphériques (aérosols) et iodes

Sur la chaîne de mesure en continu des gaz rares décrite ci-dessus, une partie de l'air prélevé est aiguillée vers un dispositif de prélèvement des aérosols et des iodes (halogènes). Ce dispositif est équipé d'un filtre pour collecter les aérosols et



Fig. 7 → Prélèvement par tamis moléculaires



de deux cartouches en série à charbon actif pour fixer les iodes. Comme pour la mesure du tritium, le filtre et la cartouche sont retirés 4 fois par mois (*cf.* chapitre 7 §3.2) pour y effectuer, au laboratoire d'effluents, les analyses réglementaires.

Sur le filtre (aérosols), des spectrométries gamma et des mesures d'activité bêta globale et alpha globale d'origine artificielle sont pratiquées.

Sur le charbon actif, les iodes sont quantifiés par une mesure **gamma globale** et par **spectrométrie gamma** pour distinguer les isotopes de l'iode, en particulier l'iode 131 de l'iode 133.

3.3 Mesures de la radioactivité dans les effluents liquides

Les mesures de radioactivité s'effectuent **avant rejet** sur les effluents stockés dans les réservoirs T ou Ex. Un contrôle est réalisé **pendant le rejet** au moyen d'un radiamètre situé sur la canalisation de rejet.

Analyses avant rejet dans les réservoirs T ou S

Chaque réservoir d'entreposage d'effluents liquides radioactifs (300 à 750 m^3 selon les sites) est analysé **avant** d'être rejeté. Le prélèvement d'échantillon est effectué après avoir mis en brassage le réservoir de façon à garantir une bonne homogénéité de l'effluent. Sur l'échantillon (1 ou 2 litres), sont réalisées réglementairement au laboratoire « Effluents » :

- la mesure des activités alpha globale et bêta globale par compteur proportionnel,
- la mesure de l'activité gamma globale par un détecteur de type NaI(Tl), ce qui permet de faite des mesures à température ambiante ou compteur proportionnel,
- la mesure de l'activité tritium par scintillation liquide,
- la spectrométrie gamma pour déterminer la composition isotopique de l'effluent (détecteur à semi-conducteur au germanium hyper pur GeHP).

Sur cet échantillon est aussi réalisée une mesure de carbone 14 par scintillation liquide. Mais compte tenu du délai d'analyse (plusieurs semaines), le réservoir peut être rejeté sans attendre le résultat.

Analyses des eaux d'exhaure des salles des machines (réservoirs Ex)

Avant rejet, les réservoirs Ex de capacité 1 000 m^3, contenant les eaux d'exhaure des salles des machines réputées non radioactives, font l'objet de contrôle d'absence de radioactivité. Le prélèvement d'échantillon s'effectue après brassage. Les mesures de radioactivité faites au laboratoire « Effluents » de la centrale portent sur :

- l'activité bêta globale par compteur proportionnel,
- l'activité tritium par scintillation liquide.

Mesure de la radioactivité gamma globale sur la canalisation de rejet

Un contrôle continu de la radioactivité est réalisé sur la canalisation de rejet. Cette chaîne comprend deux détecteurs de type NaI(Tl) et un système d'alarme qui interrompt automatiquement le rejet par fermeture de la vanne d'isolement dès lors que l'activité gamma globale dépasse 40 kBq/L.



Chaîne de mesure de radioactivité gamma globale sur la canalisation de rejet.

3.4 Mesures de la radioactivité dans l'environnement à 1 km, à 5 km

Mesure du rayonnement gamma ambiant

La grandeur physique mesurée par les radiamètres est, depuis 2009, le débit d'équivalent de dose dû au rayonnement gamma ambiant exprimé en µSv/h, noté H*10 (*cf.* annexe 10.1).

Avant cette date, l'exposition était définie par le débit de KERMA en µGy/h (ambiant **K**inetic **E**nergie **R**eleased in **Ma**tter).

En clôture de site, le réseau de radiamètres est constitué de 10 sondes autonomes de mesures gamma ambiant (appelées sondes « gamma Tracer » ou encore sondes « génitron »). Elles remplacent les dosimètres thermoluminescents installés à l'origine. À chacune des stations des réseaux 1 et 5 km, la mesure est réalisée par une balise radiamétrique composée de 2 tubes fonctionnant en régime **G**eiger-**M**üller (GM). Le comptage des impulsions par unité de temps est converti en équivalant de dose « gamma ambiant » exprimé en µSv/h.

Mesure du tritium dans l'air ambiant

À la station à 1 km situé sous les vents dominants, se trouve un dispositif de prélèvement par barbotage du même type que celui utilisé à la cheminée. Le tritium susceptible d'être présent dans l'air ambiant est prélevé pendant une semaine. L'eau du barboteur est récupérée pour être analysée, par scintillation liquide, au laboratoire « Environnement » de la centrale.

Mesure de la radioactivité de l'herbe

Deux échantillons d'herbe sont prélevés mensuellement sur une parcelle de 1 m^2, l'un sous les vents dominants. L'échantillon d'herbe est prélevé dans un flacon plastique ou sac thermoplastique soudable étanche puis séché en étuve en laboratoire. Une partie de l'herbe séchée puis broyée sert à la mesure par spectrométrie gamma. Une autre partie est calcinée pour la mesure bêta globale des cendres. La mesure de potassium 40 peut être faite par spectrométrie d'émission atomique, plus précise que la spectrométrie gamma. Pour la mesure de carbone 14, l'échantillon d'herbe est adressé au laboratoire externe agréé pour ce type de mesure.

Mesure de la radioactivité du lait

Un échantillon de 2 litres de lait est prélevé et envoyé pour analyse dans un laboratoire extérieur ; si l'analyse ne peut être réalisée rapidement, l'échantillon est congelé afin d'éviter sa fermentation. Il est procédé à une extraction sur résine avant d'effectuer la mesure de l'activité du strontium 90. Le potassium 40 est obtenu par spectrométrie gamma.

Mesure de la radioactivité de l'eau de pluie

L'eau de pluie est prélevée à la station AS1 au moyen d'un collecteur d'une surface de 500 cm^2. L'échange de flacon est effectué systématiquement 4 fois par mois, sauf si le niveau n'atteint pas 1/3 du flacon ou s'il pleut beaucoup et que le niveau du flacon dépasse 2/3. Sur les échantillons sont pratiqués mensuellement des mesures d'activités bêta globale et tritium ainsi qu'une mesure chimique de potassium.



Préleveur d'eau de pluie.

Mesure de la radioactivité des poussières atmosphériques

Des aspirateurs placés dans chacune des stations à 1 km permettent de prélever en continu des poussières atmosphériques sur un filtre dont l'activité bêta globale est mesurée quotidiennement au moyen d'un compteur proportionnel.

Mesure de la radioactivité de l'eau prélevée en mer ou en rivière

Le prélèvement d'eau est effectué au moyen d'un hydrocollecteur. Celui-ci est placé dans l'émissaire de rejet (puits, bassin, ou chenal de rejet)



Prélèvements des aérosols sur filtre.

des centrales marines et en estuaire ou dans le cours d'eau en aval des rejets des centrales en bord de rivière, dans la zone de bon mélange. L'hydrocollecteur permet de prélever de façon séquentielle des échantillons horaires de 1 ou 2 litres chacun (24 par journée) ainsi que des échantillons journaliers de 10 litres. Ces échantillons sont utilisés pour la détermination des activités « bêta globale » et « tritium » à mi-rejet en moyennes horaires ou journalières. Les mesures d'activité bêta globale et tritium sont faites au laboratoire « Environnement ». Sur ces mêmes prélèvements sont aussi effectuées les mesures chimiques requises par la réglementation.

Pour les sites en bord de mer, deux prélèvements d'eau de mer sont réalisés au large pour la mesure bêta globale, tritium et potassium sur l'eau filtrée et bêta globale sur les matières en suspension (MES).



Hydrocollecteur pour les prélèvements d'échantillons à mi-rejet.

Prélèvements réalisés dans le cadre des campagnes de radioécologie

Ces campagnes de mesures sont confiées à des laboratoires extérieurs spécialisés dans ce type de mesure. Les prélèvements d'échantillons dans les écosystèmes terrestre et aquatique doivent obéir à des règles strictes définies dans des normes quand elles existent (AFNOR, AIEA) ou des procédures opératoires éprouvées. Certains prélèvements nécessitent l'usage d'outils particuliers (tarière pour le sol en profondeur, pêche électrique pour les poissons…). Les prélèvements doivent ensuite être traités afin de concentrer les radionucléides par étuvage ou lyophilisation. Cette étape est parfois suivie d'une calcination. Pour chacun des supports (appelés matrices) renfermant les radionucléides, des modes opératoires spécifiques sont mis en œuvre avant conditionnement de l'échantillon pour analyse. Ce travail est réalisé dans des salles réservées à chaque type de matrices (sédiments-sols, faune-flore) ou dans des zones spécialement aménagées. Cette compartimentation réduit les risques de contamination croisée des échantillons de natures différentes.



Prélèvement d'eau pendant une campagne radioécologique (IRSN).

4. Méthodes analytiques appliquées aux substances chimiques

L'exploitant procède à de nombreuses mesures physico-chimiques et biologiques dans les effluents et dans l'environnement. La nature et les fréquences auxquelles celles-ci doivent être réalisées sont fixées dans l'arrêté d'autorisation propre à chaque centrale nucléaire. Ces mesures se réfèrent à des normes analytiques et métrologiques.

4.1 Paramètres chimiques et biologiques

Les mesures chimiques et biologiques se réfèrent à des paramètres dont les principaux sont listés dans l'encart page suivante.

4.2 Méthodes de mesures physico-chimiques

Les mesures physico-chimiques pratiquées en centrale nucléaire regroupent à la fois les analyses rapides de terrain, les mesures de laboratoires et celles fournies en continu par les automates chimiques.

Analyse rapides sur le terrain

Le suivi du bon fonctionnement d'une installation de traitement d'effluents, de production d'eau déminéralisée, de traitement antitartre ou biocide nécessite, entre autres, des mesures rapides qui sont réalisées sur place au moyen d'appareils portatifs (pH-mètre, oxygène-mètre, conductimètre, turbidité-mètre, chlore-mètre…). Ces matériels font périodiquement l'objet d'un suivi métrologique.

Mesures de laboratoire

En laboratoire, les techniques les plus utilisées sont les suivantes :

- ***Techniques spectrométriques :*** ces techniques sont fondées sur les propriétés qu'ont les atomes à émettre ou à absorber des rayonnements électromagnétiques lorsqu'ils sont excités par une source d'énergie extérieure (chaleur, lumière). Parmi ces techniques, on distingue :
  - la **torche à plasma** (ICP) où l'échantillon est introduit sous forme d'aérosol dans un plasma d'argon créé par un générateur à haute fréquence. Sous l'effet de la chaleur (6 000°C), les atomes sont excités et le retour à l'état fondamental s'accompagne d'une émission de photons sous la forme d'un spectre comportant de nombreuses raies.
  - la **Spectrométrie d'Absorption Moléculaire** (SAM) consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert.

Paramètres chimiques en centrale nucléaire

Le pH (potentiel Hydrogène : unité pH)

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de « pH » permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH est fonction de la concentration en ions H_3O^+ de la solution à mesurer : pH = – log (H_3O^+). à titre indicatif, le pH de l'eau pure à 25 °C, qui est égal à 7, a été choisi comme valeur de référence d'un milieu neutre.

La conductivité électrique (µS/cm)

L'eau est d'autant plus conductrice de l'électricité qu'elle est riche en sels dissous. La mesure de la conductivité électrique est obtenue au moyen d'un conductivimètre ou conductimètre.

La salinité

Les T.A. et T.A.C. (Titres Alcalimétriques simple et Complet : meq/L ou °F)
Ce paramètre renseigne sur l'agressivité de l'eau ou sa tendance à l'incrustation au moyen du dosage des hydrogéno-carbonates alcalins ou alcalino-terreux contenus dans l'eau.
Le T.H. (Titre Hydrotimétrique : meq/L ou °F)
Il exprime la concentration globale en sels de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. Si le TH est grand, l'eau est dure (sels incrustants).

Les matières en suspension (mg/L)

Dans les effluents ou dans l'eau prélevée dans l'environnement, on distingue les Matières En Suspension (MES) ou particulaires des substances dissoutes. La distinction s'opère en faisant passer l'échantillon sur un filtre de porosité 0,5 µm. On peut aussi procéder par centrifugation.

La DCO (Demande Chimique en Oxygène : mg en O_2/L)

La mesure permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. L'oxydation s'effectue à chaud, en milieu acide, en présence d'un excès d'oxydant.

La DBO (Demande Biochimique en Oxygène : mg en O_2/L)

C'est la quantité d'oxygène consommé à 20 °C, dans l'obscurité, pendant un temps donné pour assurer l'oxydation biologique des matières organiques biodégradables présente dans l'eau usée. En pratique on mesure la DBO après 5 jours d'incubation (DBO5).

Les formes chlorées

Le chlore libre (mg/L) : C'est le chlore présent sous forme d'acide hypochloreux, d'ion hypochlorite ou de chlore élémentaire dissous.
Le chlore total (mg/L) ou Chlore Résiduel Total (CRT) : C'est le chlore présent sous forme libre et de chlore combiné.
Les chlorures : Cl^- (mg/L) : ces ions négatifs sont associés à des cations (ions positifs) tels que l'ion sodium Na^+ dans le chlorure de sodium (NaCl) ou le cation calcium Ca^+ dans le chlorure de calcium ($CaCl_2$). Présents dans les effluents et dans l'environnement aquatique, ils participent à la conductivité de l'eau.

Les formes azotées (mg/L)

L'azote (N) peut se présenter dans les rejets sous différentes formes chimiques (ammonium, nitrites, nitrates, organique). L'azote provient de :

- l'ammoniaque utilisée dans le circuit secondaire (ammoniaque),
- la monochloramine du système de traitement biocide (ammoniaque, nitrites, nitrates),
- la station d'épuration (ammoniaque, organique, nitrites, nitrates),
- l'hydrazine et de la morpholine (organique).

L'**azote** de l'hydrazine et de la morpholine est caractérisé par des mesures spécifiques. L'azote organique n'est donc pas inclus sous le vocable « **azote global** » qui s'entend de la façon suivante :

- azote global = azote de l'ammoniaque + azote des nitrites + azote des nitrates.

Cette définition diffère de la norme qui ajoute à la formule précédente l'azote organique :

- azote global = azote de l'ammoniaque + **azote organique** + azote des nitrites + azote des nitrates.

La simplification adoptée se justifie par le fait que l'azote organique n'est pratiquement issu que de la morpholine et de l'hydrazine qui est mesurée spécifiquement.
Nota : *Pour la STation d'EPuration (STEP), l'azote ammoniacal est remplacé par l'**Azote Total Khejdhal** (noté NTK) qui est égal à la somme : azote de l'ammoniaque + **azote organique**.*

- la **spectrométrie d'émission atomique** est une technique fondée sur la mesure de l'intensité des photons émis par des atomes excités au moyen d'une flamme.

• ***Techniques séparatives*** :
- **l'Electrophorèse Capillaire** (EC) permet le dosage en solution aqueuse des ions (anions ou cations). C'est une technique de séparation électrocinétique réalisée dans un tube de faible diamètre, rempli d'un électrolyte.
- la **Chromatographie Ionique en Phase Liquide** (CIPL) est une méthode de séparation des espèces ioniques contenues dans un échantillon. Cette technique, qui utilise les interactions entre les cations ou anions et la colonne de résines échangeuses d'ions, est capable de doser simultanément plusieurs ions.

- **la titrimétrie ou volumétrie** consiste à faire entrer en réaction la substance à doser, préalablement dissoute, avec un réactif convenablement choisi de concentration connue (solution titrante). Les modes opératoires sont rapides, précis et simples.
- **la pesée** vise à déterminer la quantité de matières en suspension dans un échantillon liquide (MES) après séparation des phases liquide et solide par filtration ou centrifugation.

Automates chimiques (stations multiparamètres)

Les centrales nucléaires de bord de rivière disposent chacune de trois stations multiparamètres implantées à demeure dans l'émissaire de rejet principal ainsi qu'à l'amont et à l'aval du point de rejet. Ces stations mesurent en continu quatre paramètres qui sont le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, la température. L'eau à contrôler est prélevée par une pompe qui alimente les capteurs dont les signaux sont enregistrés et retransmis en salle de commande. Ces stations font l'objet de procédures d'exploitation et de maintenance visant à obtenir des données validées et homogènes pour l'ensemble des centrales nucléaires.

- ***pH-mètre*** : la sonde de pH est constituée d'une électrode de verre permettant la mesure et d'une électrode de référence plongée dans une solution connue en ions hydrogène. La différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre est proportionnelle à la concentration en ions H_3O^+(définition du pH) de l'eau à mesurer.
- ***Conductimètre ou conductivimètre*** : l'appareil mesure la résistance ou la conductance de l'eau comprise entre deux électrodes de platine de surface (S) et distantes d'une longueur (L) placées dans une cellule. La conductivité est déduite de cette mesure par la formule : *Conductivité (Siemens/m) = résistivité (ohm.m)* × $K_{cellule}$ × *S/L*
- ***Oxygène-mètre :*** la mesure utilise les réactions électrochimiques se produisant entre deux électrodes et une membrane perméable à l'oxygène.
- ***Température*** : la température est mesurée par une sonde à résistance (platine).

4.3 Tableau récapitulatif des types de mesures chimiques réalisées en centrale

La plupart des mesures chimiques et biologiques effectuées en centrales nucléaires sont réalisées en suivant des procédures analytiques **internes** s'appuyant sur les normes en vigueur et ont un **caractère prescriptif** pour les laboratoires (*cf*. tab.I).

Pour les substances telles que les bromoformes, les chloroformes, les THM, les AOX, les polyacrylates, les hydrocarbures et la mesure de la DBO5, il n'existe pas de procédures prescriptives ; les laboratoires se réfèrent alors directement aux méthodologies définies dans les normes en vigueur.

Tab. I Principales techniques de mesure utilisées dans les laboratoires.

Substance ou paramètre		Techniques de mesure prescriptives
Bore - Acide borique (H_3BO_3)		Torche plasma (ICP) Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)
Lithine (LiOH)		Torche plasma (ICP) Electrophorèse Capillaire (EC)
Hydrazine (N_2H_4)		Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)
Morpholine (C_4H_9ON)		Electrophorèse Capillaire (EC)
Ethanolamine (C_2H_7ON)		Electrophorèse Capillaire (EC)
Azote global (N)	Ammonium (NH_4)	Electrophorèse Capillaire (EC)
	Nitrite (NO_2)	Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM) Chromatographie Ionique Phase Liquide (CIPL)
	Nitrate (NO_3)	Chromatographie Ionique Phase Liquide (CIPL)
Azote Total Kjeldahl (NTK)		Chromatographie Ionique Phase Liquide (CIPL) Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM) Electrophorèse Capillaire (EC)
Métaux totaux		Torche à plasma (ICP)
Cuivre et Zinc		Torche à plasma (ICP)
Fer total (Fe)		Torche à plasma (ICP) Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)



Substance ou paramètre	Techniques de mesure prescriptives
Aluminium (Al)	Torche à plasma (ICP)
Chlorures (Cl^-)	Chromatographie Ionique Phase Liquide (CIPL) Titrimétrie
Chlore libre (CRL)	Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)
Chlore Résiduel Total (CRT)	Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)
Sodium (Na^+)	Torche à plasma (ICP) Electrophorèse Capillaire (EC)
Potassium (K^+)	Electrophorèse capillaire ou Spectrométrie
Phosphate PO_4^{3+} Phosphore (P)	Chromatographie Ionique Phase Liquide (CIPL) Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)
Sulfate (SO_4^{2-})	Chromatographie Ionique Phase Liquide (CIPL) Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)
Demande chimique en oxygène (DCO)	Oxydation
MES	Pesée
Détergents	Spectrométrie d'absorption moléculaire (SAM)

5. Méthodes de mesures microbiologiques

Sur les centrales nucléaires, dont les condenseurs sont refroidis en circuit fermé au moyen de tours aéroréfrigérantes, l'exploitant est tenu, par la réglementation, d'effectuer une surveillance microbiologique des circuits de refroidissement ainsi que des cours d'eau en amont et en aval des rejets. Le cas échéant, un traitement biocide est mis en œuvre pour prévenir le développement de micro-organismes pathogènes tels que les légionelles ou les amibes (*cf.* chapitre 6 sur les prélèvements d'eau).

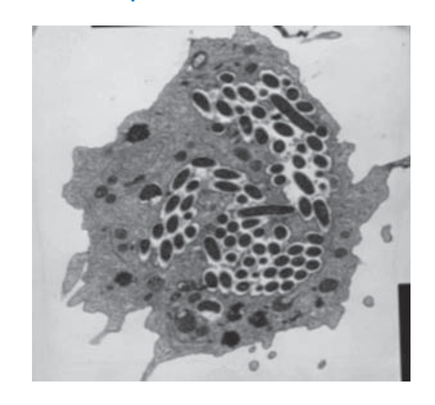
5.1 Mesures des légionelles

Les échantillons sont prélevés dans le bassin « froid » des tours aéroréfrigérantes. Le dénombrement de légionelles est réalisé, suivant la norme AFNOR NF T90-431 modifiée, par des laboratoires extérieurs accrédités par le COFRAC.

Cette méthode d'analyse, qui consiste à mettre en culture les légionelles prélevées, fournit des résultats en *Legionella* totales et en *Legionella pneumophila*, dès lors que les valeurs sont supérieures ou égales à 500 UFC/L (unités formant colonies par litre) qui est la limite de détection. En présence de flore interférente, la norme prévoit que la limite de détection peut être augmentée et le résultat peut même s'avérer ininterprétable (*cf.* fig. 8).

La fréquence de prélèvement est définie en fonction du niveau de colonisation des circuits. Elle est définie selon les préconisations de l'ASN ou de l'arrêté du 31 janvier 2006.

Fig. 8 → Dénombrement des légionelles après mise en culture



Le point et la méthode de prélèvement sont des facteurs essentiels à prendre en considération dans la définition des programmes de surveillance et de mesures. La représentativité du point de prélèvement en bassin froid a pu être démontrée par des campagnes de mesures spécifiques.

Tous les résultats d'analyses obtenus dans le cadre de cette surveillance, ainsi que la méthode employée et les coordonnées des différents intervenants (prélèvements, analyses) sont consignés dans un carnet de suivi sanitaire des installations.

La méthode d'analyse réalisée selon la norme fournit un résultat définitif en 10 à 13 jours, compte tenu

des temps nécessaires aux cultures sur boîte de Pétri. D'autres méthodes de recherche et de dénombrement des légionelles dans l'eau font l'objet d'études.

Il s'agit de :

- la méthode par **PCR** quantitative,
- la **cytométrie** en phase solide Chemscan®.

La méthode **PCR** (Polymerase Chain Reaction) consiste à quantifier les légionelles au moyen d'un message de fluorescence émis par leur ADN (norme AFNOR NFT 90-471). Des kits de dénombrement sont disponibles dans le commerce. Mais l'applicabilité de la méthode aux eaux brutes de refroidissement n'est pas acquise.

L'immuno**cytométrie** en phase solide constitue une alternative pour le dénombrement des *Legionella*. Couplée à une méthode de marquage immunologique à l'aide d'anticorps, elle permet un « screening » rapide et sensible de la contamination de l'eau.

5.2 Mesure des amibes

Pour s'assurer du respect des limites fixées dans l'eau de rivière à l'aval des centrales nucléaires concernées, des mesures de concentrations sont pratiquées quotidiennement dans les circuits de refroidissement (purges des tours aéroréfrigérantes notamment) et au rejet principal pendant les périodes à risque où un traitement biocide est mis en œuvre (*cf*. chapitre 6 sur les prélèvements d'eau). à partir des valeurs de concentrations dans les circuits (purges de déconcentration et/ou émissaire principal), sont calculées les teneurs en rivière sur la base du débit de rejet, du débit de la rivière et d'un facteur de dilution en milieu naturel.

La mesure des amibes dans l'eau était peu répandue en France au début des années 2000. Seule la Faculté de pharmacie de Lyon était capable de réaliser des mesures sur les *Naegleria fowleri,* mais dans des délais longs (trois semaines) incompatibles avec le suivi en temps réel des circuits traités. EDF a donc entrepris des recherches, en coopération avec d'autres laboratoires, afin de mettre au point une technique rapide de mesure. Cette méthode, basée sur la mise en culture des protozoaires, utilise le principe de l'identification immunologique. Avec cette technique, des résultats peuvent être obtenus en moins de cinq jours.

Les mesures pratiquées sur les circuits quotidiennement pendant la période de traitement ont montré le respect de la limite sanitaire et l'efficacité du traitement biocide. Des techniques par cytométrie en phase solide ont également été développées et peuvent être appliquées en cas de nécessité afin d'obtenir des résultats sous 48 heures.



Agitateur d'échantillons.

6. Organismes de normalisation et d'homologation

Pour que les résultats de mesure soient acceptés par tous les partenaires concernés (administration, exploitants, public...), il est nécessaire d'avoir recours à des appareils ou des méthodes de mesure éprouvées et fiables. C'est pour répondre à ce besoin que les organismes de normalisation et d'homologation existent et qu'un travail permanent y est réalisé en leur sein afin d'améliorer sans cesse la qualité de ces mesures.

Une norme désigne un ensemble de spécifications décrivant un objet ou une manière d'opérer et constitue une référence technique. Une norme n'est pas obligatoire ; sa mise en œuvre résulte d'un acte volontaire, sauf lorsque celle-ci est rendue obligatoire par un texte réglementaire.



Accréditation et agrément

La norme internationale ISO/CEI 17000 définit l'accréditation comme une « *Attestation délivrée par une tierce partie, ayant rapport à un organisme d'évaluation de la conformité, constituant une reconnaissance formelle de la compétence de ce dernier à réaliser des activités spécifiques d'évaluation de la conformité* ».
Cela se traduit par un contrôle de second niveau s'exerçant sur les laboratoires par l'organisme d'accréditation, afin d'attester de leur compétence pour réaliser des étalonnages, des mesures.
Le recours à l'accréditation est à l'origine et par essence de nature volontaire. Cependant, l'accréditation tend à se développer dans le domaine règlementaire comme un préalable à un futur agrément délivré par l'administration. Le but d'une démarche d'accréditation est l'instauration de la confiance dans les prestations réalisées du point de vue de la compétence technique.
Pour participer au Réseau National de Mesure de la radioactivité de l'environnement (RNM), les laboratoires d'environnement des centrales nucléaires sollicitent des **agréments** auprès de l'ASN pour toutes les mesures concernées. Dans le cadre de cette démarche, EDF a choisi de conduire les laboratoires « Environnement » vers l'**accréditation** COFRAC. Cette dernière permet de justifier la conformité des pratiques avec la norme internationale ISO 17025 qui spécifie les exigences de qualité et de compétence propres aux laboratoires d'essais et d'analyses (*cf.* chapitre 9 du guide).

6.1 Organismes internationaux de normalisation

Organisme International de Normalisation (ISO)

Créé en 1947, l'ISO, dont le siège est à Genève, est une fédération mondiale d'organismes nationaux qui compte plus de 150 pays. L'AFNOR représente la France dans cet organisme dont l'objectif est de promouvoir le développement de la normalisation dans le mode entier.

Comité Européen de Normalisation (CEN)

Le CEN, dont le siège est à Bruxelles, a été créé en 1961. C'est un organisme à but non lucratif (association) composé des instituts de normalisation des pays membres ou affiliés. Il a pour objectif d'approuver les normes européennes. Il n'y a pas de catalogue de normes CEN.

Commission Internationale des Unités et mesures Radiologiques (ICRU)

Cet organisme, créé en 1925, a notamment pour objectif l'élaboration de recommandations portant sur les grandeurs et unités de la radioactivité et de la dosimétrie.

6.2 Organismes français de normalisation et d'homologation

EDF participe aux travaux des organismes français de normalisation.

Association Française de Normalisation (AFNOR)

L'AFNOR a été créée en 1926 dans le but de promouvoir, de développer et de diffuser des normes. Elle est membre de l'ISO et du CEN et doit, à ce



titre, intégrer dans la normalisation française les normes internationales et européennes. Les normes AFNOR sont publiées dans des recueils par domaine (qualité de l'eau, ...). Une norme française porte le label NF. Certaines normes en instance d'homologation sont dites expérimentales et portent l'inscription XP ; ce statut ne peut excéder 5 ans.

Bureau National de normalisation d'Equipements Nucléaires (BNEN)

Créé le 26 juin 1990 par décision du ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire, le BNEN anime des commissions de normalisation et prépare les projets de normes concernant la conception et la réalisation d'équipements nucléaires. Il apporte la contribution française aux travaux de normalisation internationale et européenne.

Le BNEN rassemble des représentants de l'industrie nucléaire et comprend notamment les commissions M 60.1 « Protection contre les rayonnements » et M 60.3 « mesure de la radioactivité dans l'environnement » et anime plusieurs groupes de travail. Ces groupes élaborent des projets de normes pour la mesure de la radioactivité dans l'air, l'eau, les sols, les bioindicateurs et les effluents. Ces projets sont ensuite édités sous forme de normes AFNOR.

Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection (CTHIR), de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

Dépendant de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), le CTHIR est un organisme d'homologation des matériels de mesure de radioprotection. Il effectue, à ce titre, des expertises et participe à l'élaboration des normes nationales et internationales. Pour accomplir ses missions, le CTHIR s'appuie sur :

- une commission consultative composée de représentants du CEA, EDF, AREVA, ...
- un comité d'experts,
- un réseau de laboratoires auxquels sont confiés les essais de conformité.

Le CTHIR a notamment homologué une balise « type BAE » de mesure d'aérosols dans l'environnement.

Commission d'ETAblissement des Méthodes d'Analyses (CETAMA au sein du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA)

La CETAMA a pour mission de contribuer à l'amélioration et à la validation des méthodes de mesure en organisant notamment les intercomparaisons entre laboratoires. Par ce biais, la CETAMA accompagne les laboratoires dans leur démarche d'amélioration des méthodes de mesure.

Union Technique de l'Electricité – Comité Electrotechnique Français UTE/CEF

Membre de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), l'UTE, dans laquelle EDF est représentée, est responsable de la normalisation des matériels, installations et services dans le domaine de l'électrotechnique. En 1997, le sous-groupe 45 B UTE/CEF a participé à la réécriture des normes CEI sur le contrôle des rejets radioactifs gazeux à la cheminée des installations nucléaires.

6.3 Organisme français d'accréditation

COmité FRançais d'ACcréditation (COFRAC)

Le COFRAC, créé en 1994, est une association chargée de l'accréditation des laboratoires, des organismes certificateurs et d'inspection. En France, ce comité a été désigné comme unique instance nationale d'accréditation par le décret du 19 décembre 2008.

Annexe 10.1

Principales grandeurs et unités pour la radioactivité

La radioactivité est un phénomène de désintégration de la matière qui s'accompagne de l'émission de rayonnements sous forme de particules (ex. électrons, neutrons…) ou de rayonnements électromagnétiques (ex. rayons X et gamma).

La physique des rayonnements s'intéresse au cheminement des particules de la source de rayonnement à la cible c'est-à-dire le milieu traversé.

Grandeur caractérisant la source de rayonnement

Activité (Bq) : Une source radioactive est caractérisée par **l'activité des radionucléides** qui la composent, correspond au nombre de désintégrations d'atomes par unité de temps (la seconde) et s'exprime en **becquerel (Bq)**. Cette activité ($A = -dN_t/dt$) décroit avec le temps suivant une loi exponentielle ($Nt=N0e^{-l\,(t-t0)}$). Le temps au bout duquel la moitié des atomes se sont transformés s'appelle la période radioactive ou demi-vie ($T = \ln 2/\lambda$).

Radionucléide	Période	Masse du GBq
Tritium	12,2 ans	3 µg
Carbone 14	5730 ans	6 mg
Césium 137	30 ans	0,3 mg
Iode 131	8 jours	0,2 µg

Grandeurs physiques caractérisant la cible (milieu traversé)

Dose absorbée - D : la dose absorbée est le quotient de l'énergie moyenne (dE) communiquée par les rayonnements ionisants à l'élément de volume de masse (dM) : $D = dE/dM$. L'unité S.I. est le gray qui correspond à une énergie moyenne de 1 joule par kilogramme de matière : 1 Gy = 1 J/kg.

Kerma - K (Kinetic Energy Released in Matter) : le kerma est le quotient de la somme des énergies cinétiques initiales (dE_{tr}) de toutes les particules chargées électriquement libérées par les rayonnements électromagnétique de type X ou gamma dans l'élément de matière (dM), par exemple l'air dans le cas de la mesure du débit de dose gamma ambiant : $K = dE_{tr}/dM$. L'unité S.I. est le gray. L'ancienne unité, dont l'usage n'est plus légal depuis 1986, est le rad.

Grandeurs radiobiologiques

Les effets des rayonnements sur les êtres vivants dépendent étroitement de la dose absorbée (D), mais cette grandeur est insuffisante pour en caractériser l'importance. Le débit de dose, le fractionnement de la dose et la nature du rayonnement ont une influence déterminante sur les effets observés. La CIPR (Commission Internationale de Protection Radiologique) et l'ICRU (acronyme anglais) de la Commission Internationale des Unités et mesures Radiologiques) ont défini les grandeurs suivantes :

Dose équivalente – $H_{T,R}$: il s'agit du produit de la dose absorbée moyenne ($D_{T,R}$) dans l'organe ou le tissu (T) du au rayonnement (R). Pour évaluer l'effet biologique qui en résulte, cette dose est pondérée par le facteur de pondération relatif aux rayonnements (w_R). Cette dose est appelée dose équivalente ($H_{T,R}$) : $H_{T,R} = w_R \,.\, D_{T,R}$. L'unité S.I. est le sievert (Sv).

Nature du rayonnement	Facteur de pondération w_R
Rayonnements X ou γ	1
Rayonnement β (électron)	1
Particules α	20

Dose efficace (E) : cette grandeur traduit le risque d'apparition d'effets tardifs de cancer ou d'effet génétique. Elle s'obtient par le produit de la dose équivalente par un facteur de pondération (w_T) relatif aux organes ou tissus irradiés et peut être considéré comme une image de la radiosensibilité du tissu ou de l'organe : $E = H_{T,R} \,.\, w_T$. L'unité S.I. est le sievert (Sv).

Tissus ou organes	Facteur de pondération w_T
Gonades	0,20
Moelle osseuse	0,12
Foie	0,05
Thyroïde	0,05
Corps entier	$w_T = 1$

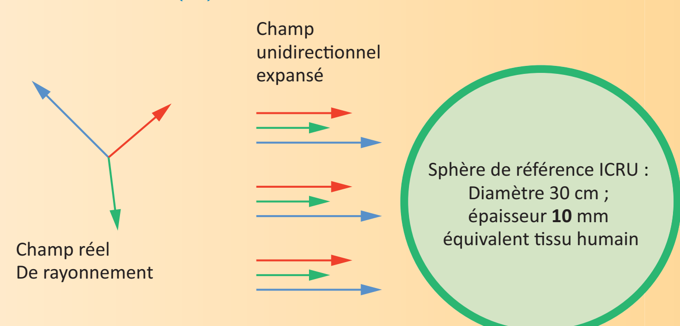
Dose efficace engagée (E_{eng}) : Elle correspond au cumul de dose moyen résultant d'une exposition d'un individu d'une population pendant une durée donnée. Dans les études d'impact, cette durée est de 50 ans pour les adultes et de 70 ans pour les enfants. $H50 = \int_0^{50} H(t).dt$. L'unité S.I. est le sievert (Sv).

Équivalent de débit de dose ambiant, noté H*(10) : cette grandeur définit l'équivalent de

dose par unité de temps qui serait produit par à un champ de rayonnement gamma ambiant unidirectionnel et expansé correspondant, dans une sphère de référence définie par l'ICRU dans son rapport n° 39. L'unité S.I. est le sievert par heure (Sv/h).

La mesure de l'équivalent de dose gamma ambiant par unité de temps réalisé au voisinage des centrales nucléaires correspond en fait à une mesure du kerma dans l'air exprimé en µGy/h ou nGy/h ; la valeur est ensuite convertie en équivalent de débit de dose correspondant à la définition H*(10) en µSv/h (*cf*. fig. A.12.1).

Fig. A.10.1 → Équivalent de dose par unité de temps H*(10)

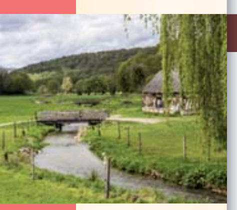



1



1

Rôle de l'administration

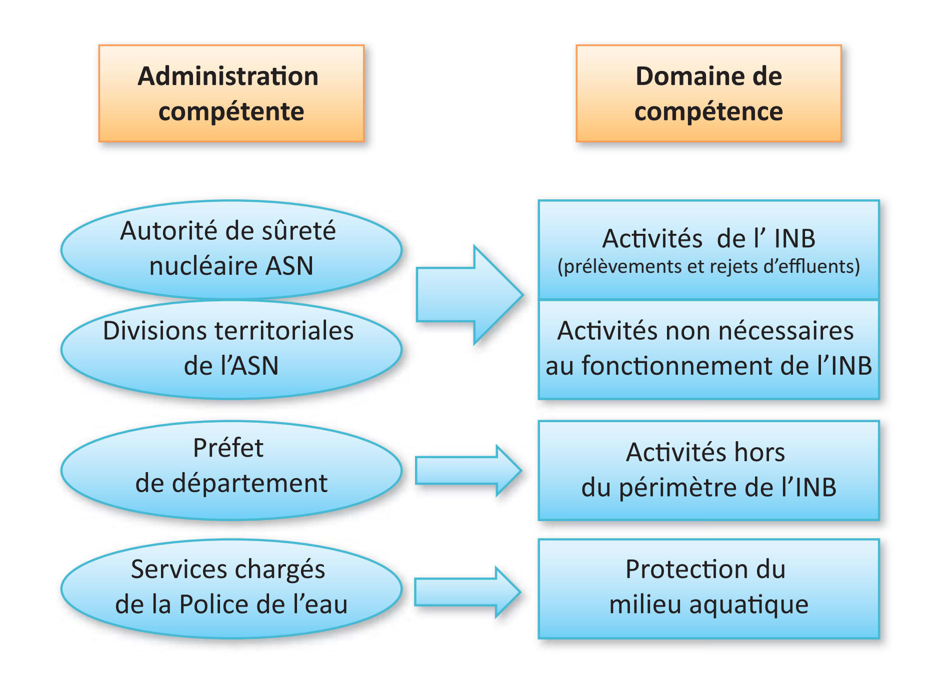


1. Introduction

S'agissant de l'environnement, les compétences de l'administration sont partagées suivant trois domaines (*cf.* fig. 1) :

- les activités couvertes par le code de l'environnement codifiée (droit nucléaire). Dans ce cadre, les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents des centrales nucléaires sont autorisés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et contrôlés par elle,
- les activités dans le périmètre de l'INB[1] mais non nécessaires à son fonctionnement (aires d'entreposage de déchets conventionnels…) relèvent de la réglementation relative aux ICPE et restent contrôlées par l'ASN et ses divisions territoriales,
- les activités et équipements situés à l'extérieur du périmètre de l'INB, relèvent du droit commun (réglementation ICPE, sur l'eau, sur l'air…) et sont sous l'autorité du préfet de département,
- la protection du milieu aquatique est contrôlée par les services décentralisés de l' État, chargés de la police de l'eau.

Fig. 1 ➜ Compétence des administrations concernées par les centrales nucléaires dans le domaine de l'environnement





Centrale nucléaire de St-Alban sur le Rhône (2 × 1300 MWe – 180 ha).

1. Périmètre de l'INB est défini dans le DAC.

Surveillance par les instances internationales et européennes

Les centrales nucléaires font l'objet d'une surveillance de la part de la Commission européenne au titre du Traité EURATOM (article 35). Sur le plan international, la France doit rendre compte, au secrétariat de la Convention sur la protection du milieu marin de l'Atlantique nord-est, dite « OSPAR », des rejets radioactifs effectués par les centrales nucléaires concernées et de leur évolution. Par ailleurs, l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) réalise périodiquement des missions de surveillance (OSART).

2. Contrôle exercé par l'administration (pouvoir de police)

2.1 Contrôle exercé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)

L'ASN est une autorité administrative indépendante (AAI) créée par la loi TSN du 13 juin 2006 codifiée aux articles L. 592-1 et suivants du Code de l'environnement (*cf.* chapitre 5 sur la réglementation). L'ASN a notamment pour mission d'assurer le contrôle du respect des règles générales et des prescriptions particulières auxquelles sont soumises les centrales nucléaires en matière de prélèvements d'eau et de rejets. À ce titre, l'ASN prend les décisions réglementaires qui s'imposent. Le contrôle exercé par l'ASN dans ce domaine est fondé d'une part, sur la responsabilisation de l'exploitant et, d'autre part, sur le souci de tenir compte des préoccupations du public, très sensible à tout ce qui touche les centrales nucléaires.

Actions de l'ASN visant à responsabiliser l'exploitant

L'ASN considère que l'exploitant de la centrale nucléaire est le premier responsable de la gestion de ses effluents. Il doit, à ce titre, maîtriser et limiter les rejets et rendre compte de leur impact sur la santé du public et sur l'environnement.

Les activités relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets d'effluents font l'objet d'autorisations dont le dispositif de délivrance a été modifié par la loi TSN de 2006 codifiée, afin de mieux intégrer les questions d'environnement, de sûreté nucléaire et de radioprotection, et ceci dès la phase de conception de la centrale. Cette approche intégrée, voulue par la loi TSN codifiée, conduit l'exploitant à présenter une demande d'autorisation unique couvrant tous ces aspects. Après examen de la demande, l'ASN délivre sous la forme de « Décisions » les prescriptions techniques sur les conditions de prélèvement d'eau, la limitation et l'optimisation des rejets, la surveillance de l'environnement et l'information du public. S'agissant des limites de rejets, les Décisions sont soumises à l'homologation des ministres chargés de la sureté nucléaire.

Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)

L'ASN est dirigée par un collège de 5 commissaires qui définit la politique générale de l'ASN en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. Les services de l'ASN, dirigés par le Directeur général, sont notamment :

- au niveau central, les directions techniques dont une chargée spécialement des **centrales nucléaires** et une autre de **l'environnement et des situations d'urgence**,
- au niveau territorial, les onze divisions régionales. Les responsables des services forment, avec les membres du comité exécutif, le comité de direction de l'ASN.

Elle succède aux organismes d'état chargés de la sûreté nucléaire des INB, à savoir le Service Central de la Sûreté des Installations Nucléaires SCSIN (années 70–80), la Direction de la Sûreté Nucléaire DSIN (années 90) et la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (DGSNR 2002-2006).

Au stade de la demande d'autorisation, l'ASN veille à ce que l'exploitant présente clairement dans son dossier les raisons objectives qui l'ont conduit à choisir entre plusieurs options, notamment entre celle de confiner les substances dans les déchets ou celle de les rejeter dans l'environnement. Dans cet esprit, l'ASN fixe des valeurs de rejet à ne pas dépasser (*principe de limitation*) et incite l'exploitant à optimiser ces procédés de gestion en utilisant les « meilleures techniques disponibles à coût économique acceptable» afin de garantir un impact



sur la santé et sur l'environnement aussi bas que raisonnablement possible (*principe d'optimisation*).

Pour ce qui est de l'optimisation, l'ASN considère qu'elle doit être mise en œuvre pendant toute la durée de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Avec la loi TSN codifiée, l'exploitant doit démontrer tous les 10 ans qu'il a optimisé ses rejets par l'utilisation des « meilleures techniques disponibles à coût acceptable » ou la mise en œuvre de « bonnes pratiques », au même titre qu'il doit apporter la preuve que le niveau de sûreté de son installation est le meilleur. Par ailleurs, la réglementation demande à l'exploitant d'établir, en début d'année, une prévision chiffrée des prélèvements et consommations d'eau et des rejets d'effluents auxquels il compte procéder. Cette prévision doit être communiquée à l'ASN et la CLI au plus tard le 31 janvier de chaque année (arrêté INB du 7 février 2012 article 4.4.3.I, applicable au 1er juillet 2013).

Le contrôle exercé par l'ASN sur les rejets porte principalement sur :

- la conformité, par rapport aux prescriptions réglementaires, des matériels et des procédures mises en place par l'exploitant pour effectuer les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents (efficacité des moyens de traitement, étanchéité des capacités de stockage, bon fonctionnement des appareils de mesure…),
- la cohérence des résultats des mesures réalisés par l'exploitant (autosurveillance) que celui-ci consigne dans les registres réglementaires mensuels,
- la qualité des analyses pratiquées par l'exploitant au travers des **contrôles dits croisés** confiés à des laboratoires extérieures agréés (*cf.* encart),
- la chaîne de prélèvement et d'analyse des échantillons à l'occasion **d'inspections dites avec prélèvements** réalisées de façon inopinées ou non à raison d'une inspection par an et par centrale nucléaire (*cf.* encart).

Actions de l'ASN en réponse aux préoccupations du public

L'ASN veille à ce que l'exploitant fournisse tant à l'administration qu'au public des informations intelligibles sur l'impact des prélèvements d'eau et les rejets d'effluents. Ceci concerne les informations présentées à la création de la centrale lors de l'enquête publique (DAC) ou lors de la procédure de modification des autorisations de prélèvements d'eau et de rejets. Il s'agit également des données communiquées périodiquement par l'exploitant à l'administration et aux Commissions Locales d'Information (CLI) sur le fonctionnement de son installation (*cf.* chapitre 4 du guide sur l'information du public).

2.2 Contrôle du domaine de l'eau (police de l'eau)

La police spéciale de l'eau a pour objectif de :

- lutter contre la pollution des eaux des cours d'eau, lacs, plans d'eau et de la mer, ainsi que des eaux souterraines, en particulier celles destinées à l'alimentation humaine,
- contrôler la construction d'ouvrages faisant obstacle à l'écoulement des eaux et de prévenir les inondations,
- protéger les milieux aquatiques et les zones humides,
- concilier les différents usages de l'eau.

Elle est essentiellement assurée au niveau local sous l'autorité du préfet de département à travers **les Missions InterServices de l'Eau (MISE)** chargées de coordonner les actions de la police de l'eau.

Les MISE associent également les services chargés de l'inspection des ICPE[1] et des services départementaux de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA) (*cf.* encart).

La **direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement** (DREAL)[2] assure la coordination de la police de l'eau au niveau régional.

Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA)

L'Office est un établissement public national qui a été créé par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 et le décret d'application n° 2007-443 du 25 mars 2007. Il constitue l'organisme technique français de référence sur la connaissance et la surveillance de l'état des eaux et sur le fonctionnement écologique des milieux aquatiques. À ce titre, il veille au respect des réglementations concernant l'eau et la pratique de la pêche et assure le contrôle des usages afin de garantir la préservation des masses d'eau. Il assure le pilotage fonctionnel national du système d'information sur l'eau. Il succède, depuis 2006, au Conseil Supérieur de la Pêche (CSP).

Par ailleurs, l'ONEMA s'implique dans l'orientation des programmes de recherche appliqués notamment à la sauvegarde des ressources naturelles aquatiques. Il met ses connaissances et les compétences techniques au service du diagnostic de l'état des eaux et des milieux (*cf.* §4).

1. ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.
2. Les DRIRE et les DIREN ont fusionné pour devenir les DREAL en 2010.

L'exercice de la police spéciale de l'eau contient également un volet répressif. En dehors du pouvoir de police administrative exercé par les agents des services de police, énumérés dans les textes réglementaires (arrêté, décisions de l'ASN), un pouvoir de police judiciaire a pour objet la recherche et la constatation d'éléments d'infractions débouchant le cas échéant sur des poursuites pénales. Pour ce faire, les agents de l'ONEMA et les agents de police judiciaire (gendarmerie notamment) sont compétents pour constater les infractions ou les pollutions et dresser un procès verbal.

Contrôles croisés et inspections avec prélèvements

Contrôles croisés

L'Autorité de sûreté nucléaire fait réaliser de façon systématique, pour son propre compte, des contrôles par un organisme indépendant de l'exploitant. Ces contrôles dits croisés portent sur des prélèvements effectués en double sur les rejets radioactifs gazeux (à la cheminée) et sur les rejets radioactifs liquides (échantillons supplémentaires prélevés dans les réservoirs T avant rejet). Le financement des coûts induits par ces contrôles croisés est assuré par l'exploitant.

Toute anomalie dans l'exécution du programme de contrôle ou dans les résultats d'analyse est transmise par le laboratoire indépendant à l'ASN et à l'exploitant.

Pour les **rejets radioactifs gazeux**, les dispositifs redondants de prélèvement des halogènes (cartouche à charbon actif) et des aérosols (filtre) sont retirés 7 fois par an sur chacune des cheminées afin de procéder aux analyses des iodes et des produits de fission (PF) ou d'activation (PA). Le carbone 14 est mesuré 4 fois par an sur chacune des cheminées à partir des prélèvements par tamis moléculaires.

Pour **rejets radioactifs liquides**, les contrôles sont réalisés sur :

- un échantillon aliquote représentatif des rejets effectués dans le mois, pour la mesure du tritium et du carbone 14,
- un échantillon prélevé une fois par an en vue d'une analyse approfondie de la composition de l'effluent (alpha globale, bêta globale, spectrométrie gamma, fer 55, nickel 63 et strontium 90).

Inspections avec prélèvements

L'organisation des inspections fait l'objet d'un protocole tripartite signé entre l'ASN, le laboratoire extérieur chargé des prélèvements et des analyses et l'exploitant. Ce protocole définit notamment le lieu du prélèvement, le nombre de prélèvements à effectuer par point d'échantillonnage, le type de flaconnage, les analyses à réaliser.

Afin de permettre à ces inspections de se tenir un jour où des rejets ont lieu, l'exploitant informe périodiquement l'ASN du programme prévisionnel des rejets liquides. Le programme, établi chaque début de semaine, porte sur les rejets que l'exploitant pense pouvoir réaliser la semaine suivante. C'est sur la base de cette planification que l'ASN décide du jour de l'inspection inopinée.

L'inspection commence par la prise en charge des inspecteurs de l'ASN, accompagnés par une ou deux personnes de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et du personnel du laboratoire indépendant chargé d'effectuer les prélèvements et les analyses contradictoires.

Après avoir pris connaissances des rejets en cours ou prévus pour la journée, l'inspecteur de l'ASN indique à l'exploitant la nature et le nombre des prélèvements qu'il souhaite voir effectuer.

Trois échantillons sont systématiquement collectés par point de prélèvement :

- le premier échantillon est remis au laboratoire indépendant à des fins d'analyses,
- le deuxième est confié au laboratoire de la centrale,
- le troisième est conservé par le laboratoire indépendant pour contre-expertise éventuelle. Sur cet échantillon, des scellés sont placés en présence de l'inspecteur et de l'exploitant.

Les inspecteurs vérifient à cette occasion le bon respect des dispositions des autorisations et la prise en compte des observations formulées lors de l'inspection précédente. L'organisation des laboratoires fait aussi l'objet de questions sur leurs pratiques et sur leurs résultats. Pour compléter cette inspection, une visite des installations est effectuée. Les observations et les éventuels écarts constatés lors de l'inspection sont formalisés par l'ASN dans un courrier adressé à la centrale environ un mois après l'inspection. À réception des résultats d'analyses du laboratoire indépendant, l'exploitant compare ses valeurs aux résultats du laboratoire indépendant. En cas d'écart, l'exploitant peut demander à l'ASN l'analyse de l'échantillon « scellé » pour contre-expertise.

Si un écart est constaté, celui-ci est renseigné dans l'outil informatique de gestion des Relations avec l'Autorité de Sûreté (RAS). Les investigations et les correctifs apportés sont mentionnés dans cette base de données accessible à toutes les centrales nucléaires ; ceci permet de capitaliser le Retour d'Expérience.



2.3 Sanctions administratives et pénales

Responsabilité de l'exploitant

L'exploitant d'une centrale nucléaire doit se conformer aux règles juridiques en vigueur. Le non-respect de ces règles peut engager sa responsabilité tant sur le plan administratif que pénal au regard de la réglementation relative à la santé publique et à l'environnement.

Sanctions administratives

Lorsque certaines dispositions imposées à l'exploitant d'une centrale nucléaire ne sont pas respectées (non-respect d'une limite de rejet, ...), l'ASN met en demeure l'intéressé de satisfaire à ces conditions dans un délai déterminé (L. 596-14 du Code de l'environnement). Si l'exploitant n'a pas obtempéré, l'ASN peut :

- obliger l'exploitant à consigner entre les mains d'un comptable public une somme correspondant au montant des travaux à réaliser ou des mesures à prendre ; cette somme est ensuite restituée à l'exécution des travaux ou des mesures,
- faire procéder d'office, aux frais de l'exploitant, à l'exécution des travaux ou des mesures nécessaires,
- suspendre le fonctionnement de l'installation.

Le tribunal compétent pour juger ces litiges est *in fine* le Conseil d'État, après recours administratif préalable de l'exploitant.

Sanctions pénales

La responsabilité pénale est caractérisée par la sanction d'une infraction à la réglementation par le biais d'une peine d'emprisonnement et/ou d'une amende pénale. Elle peut être supportée par la personne morale (établissement) et/ou par la ou les personne(s) physique(s) ayant commis l'infraction. La police judiciaire (police, gendarmerie, le maire[1]...) est chargée, sous l'autorité du ministère public, de constater les infractions et en rechercher les auteurs.

Sanctions pénales

À titre d'exemple, l'article L. 596-27 du Code de l'environnement punit d'une amende de 7 500 euros le fait de ne pas établir le document annuel prévu à l'article 21 dans les six mois suivant la fin de l'année.

Par ailleurs, l'exploitant d'une centrale nucléaire est aussi soumis au droit commun, en particulier au Code de l'environnement qui prévoit des sanctions en cas de pollution des eaux et du Code de santé publique en cas d'atteinte à la santé des personnes.

Le Code de l'environnement prévoit les infractions et les peines applicables :

- **article L. 216-6 :** l'auteur d'une pollution des eaux est passible d'une peine de 2 ans d'emprisonnement et de 75 000 euros d'amende ;
- **article L. 216-8 :** le fait de réaliser une opération, une installation, des travaux ou des activités sans l'autorisation requise est passible d'une peine de deux ans d'emprisonnement et de 18 000 euros d'amende ;
- **article L. 432-2 :** l'auteur de la pollution de l'eau ayant entraîné la mortalité de poissons, ou nui à leur nutrition ou à leur reproduction, est puni de 2 ans d'emprisonnement ou de 18 000 euros d'amende.

3. Organisation de l'administration française dans le domaine de l'eau

3.1 Sur le plan du bassin hydrographique

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 renforce la gestion de l'eau par bassins hydrographiques qui existe en France depuis 1964. Elle fixe notamment un objectif de bon état des eaux pour 2015 avec obligation de résultats, sauf impossibilité technique ou coût démesuré, et prévoit pour cela la mise en œuvre de plans de gestion et de programmes de mesures.

En France, ce sont les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) qui constituent les plans de gestion et qui ont été révi-

1. Article 16 du Code de procédure pénale, le maire a la qualité d'officier de police judiciaire, sous les ordres du Procureur de la République de la Cour d'appel du siège de sa fonction.

sés en conséquence. Par ailleurs, un programme de mesures et un programme de surveillance de l'état des eaux ont être élaborés.

Ce changement est accompagné par une réforme de l'organisation de l'administration française dans le domaine de l'eau. Celle-ci confère un pouvoir renforcé au préfet coordonnateur de bassin et harmonise la politique de l'eau au niveau régional et au niveau départemental.

Le préfet coordonnateur de bassin

Le préfet coordonnateur de bassin est désigné comme étant **l'autorité compétente** au sens de la Directive-cadre européenne sur l'eau. Son rôle est renforcé notamment dans le cadre de la révision des SDAGE, l'élaboration des programmes de mesure et la délimitation des zones vulnérables et sensibles. À ce titre, il veille à la cohérence de l'action du bassin et des échelons administrations régionaux et départementaux. Pour assurer ses missions, le préfet coordonnateur s'appuie sur :

- la Commission Administrative de Bassin (CAB) créée, en substitution à la mission déléguée de bassin,
- le directeur régional de l'environnement délégué de bassin,
- les agences de l'eau.

La Commission Administrative de Bassin (CAB)

Cette commission aide le préfet coordonnateur à assurer la cohérence du SDAGE et du programme de mesures avec les plans d'action des services de l'État dans les départements et régions, dans le domaine de la police de l'eau, de la police des installations classées et de la police de la pêche. Elle est aussi consultée sur le projet de schéma directeur de prévision des crues.

Le Directeur de la DREAL, délégué de bassin

Dans chacun des six bassins hydrographiques, l'un des Directeurs des DREAL est désigné délégué de bassin. À ce titre, il assiste le préfet coordonnateur dans l'exercice de ses missions et assure le secrétariat de la CAB. Il anime et conseille techniquement les comités de bassin des agences de l'eau.

Les Agences de l'eau

Les agences de l'eau sont des établissements publics administratifs placés sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement et sous celle du ministère chargé des finances. Leur conseil d'administration est composé d'un président nommé par décret, de représentants de collectivités territoriales, d'un représentant de l'État et des usagers de l'eau. Leurs missions sont principalement de :

- faciliter les actions visant à préserver et améliorer la ressource en eau et à lutter contre les pollutions,
- établir et percevoir des redevances pour les prélèvements d'eau et pour la détérioration de la qualité des milieux,
- attribuer des subventions ou des avances remboursables (aux collectivités locales, aux industriels et aux agriculteurs) pour l'exécution de travaux d'intérêt commun,
- informer le public sur l'eau.

Fig. 2 ➜ Les six agences de l'eau en France métropolitaine





Le Comité de Bassin (CB)

Le comité de bassin regroupe les différents acteurs, publics ou privés, agissant dans le domaine de l'eau. Le comité est composé de représentants des régions et des collectivités locales, de représentants des usagers et de personnes compétentes, ainsi que de représentants désignés par l'État. À l'initiative du préfet coordonnateur, il définit de façon concertée les grands axes de la politique de gestion de la ressource en eau et de protection des milieux naturels aquatiques à l'échelle du bassin.

Le comité de bassin est consulté par le président du Conseil d'administration de l'agence de l'eau sur le taux des redevances susceptibles d'être perçues par l'Agence. Chargé d'élaborer le SDAGE, avant qu'il ne soit soumis à l'approbation de l'État, le comité de bassin en suit l'exécution et donne son avis sur les périmètres du SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau).

Au titre des usagers de l'eau, EDF est représentée dans les agences de l'eau et comités de bassins par l'Union Française de l'Electricité (UFE)[1].

Les Etablissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB)

Les EPTB ont été créés (article L. 213-12 du Code de l'environnement) pour faciliter, à l'échelle d'un bassin ou d'un sous-bassin hydrographique, la prévention des inondations et la gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que la préservation et la gestion des zones humides. Le préfet coordonnateur de bassin délimite le périmètre d'intervention de cet établissement public. Les EPTB sont regroupés au sein de l'Association Française des Etablissements Publics Territoriaux de Bassin (AFEPTB).

3.2 Services décentralisés sous l'autorité du préfet de région

Les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)

Les DREAL reprennent notamment les missions des anciennes DRIRE et des DIREN, à savoir : élaboration et mise en œuvre de la politique régionale de l'eau. Elles s'organisent pour répondre aux enjeux de la Directive-cadre européenne sur l'eau en se coordonnant avec les agences de l'eau et les directeurs régionaux de l'environnement délégués de bassin.

3.3 Sur les plans départemental et local

Le préfet de département

Le préfet anime et coordonne la politique de l'État en matière de police et de gestion des ressources en eau. Le préfet de département est notamment chargé de désigner les services uniques de police et de gestion des eaux superficielles et souterraines. Il en est de même pour les services chargés de la police de la pêche en eau douce. Pour les cas particuliers du service chargé de la police des eaux marines et du service chargé de la police sur certains grands axes du domaine public fluvial, leur désignation ne relève pas du préfet mais des ministres concernés.

Le Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CoDERST)

Les articles R. 1416-1 et suivants du Code de la santé publique fixent le champ de compétence du Conseil Départemental (anciennement Conseil Départemental d'Hygiène – CDH). Il concourt à l'élaboration, à la mise en œuvre et au suivi, dans le département, des politiques publiques dans les domaines de la protection de l'environnement, de la gestion durable des ressources naturelles et de la prévention des risques sanitaires et technologiques.

Il est également chargé d'émettre un avis sur les projets d'actes réglementaires en matière d'installations classées (ICPE) et d'Installations Nucléaires de Base (INB), de déchets, de protection de la qualité de l'air et de l'atmosphère, de police de l'eau et des milieux aquatiques, de polices administratives spéciales liées à l'eau, d'eaux destinées à la consommation humaine et de baignades, de risques sanitaires.

Le maire

Le maire peut prendre toutes les mesures nécessaires à la police des eaux, et dans le cas de dangers graves, il peut prescrire l'exécution des mesures de sûreté exigées par les circonstances, à charge d'en informer le préfet de département.

1. L'Union Française de l'Electricité (UFE) est **l'association professionnelle du secteur de l'électricité.** Elle représente les employeurs du secteur au sein de la branche des industries électriques et gazières.

4. Redevances relatives aux prélèvements d'eau et aux rejets

4.1 Au titre de la loi sur l'eau et des milieux aquatiques

L'article L. 213-10-9 du Code de l'environnement issu de la loi sur l'Eau et les milieux aquatiques, modifie le dispositif des redevances perçues par les agences de l'eau en application du principe de prévention et du principe de réparation des dommages à l'environnement (arrêté du 19 décembre 2011[1]).

Redevance sur les volumes d'eau prélevée dans le milieu aquatique

Cette redevance est payée par chaque centrale nucléaire en fonction du volume d'eau prélevée dans l'année (assiette) et du taux fixé par les Agences de l'eau sur la base des taux plafonds prévus par la loi.

Redevance = assiette (m^3) × taux (€/m^3)

Ce volume est mesuré par compteur d'eau ou à défaut estimé forfaitairement. Pour les **prélèvements en eau de surface**, cette redevance distingue deux cas de figure :

- celui des prélèvements en circuit ouvert où l'eau prélevée est restituée en quasi-totalité : taux plafond = 0,35 c€/m^3,
- celui des prélèvements en circuit fermé où une partie de l'eau prélevée est évaporée et donc non restituée au cours d'eau : taux plafond = 3 c€/m^3.

Les **prélèvements en mer** sont exonérés de redevance.

La redevance concerne aussi les **prélèvements d'eau en nappe souterraine** ; les taux fixés par les agences de l'eau dépendent des zones de prélèvement (zone de base ou zone renforcée).

Redevance sur les rejets polluants

Décret n° 2007-1311 du 5 septembre 2007 relatif aux modalités de calcul des redevances des agences de l'eau et modifiant le Code de l'environnement.

La redevance « pollution » est à payer lorsque le rejet d'au moins un élément constitutif de la pollution est supérieur au seuil défini par l'article L. 213-10-2 du Code de l'environnement[2]. La redevance est déterminée sur la base du flux net rejeté au milieu naturel (assiette) pour chaque élément constitutif de la pollution (MES, DCO, DBO_5, NO, NR, P, métaux, matières inhibitrices, AOX, chaleur).

Pour ce qui concerne les rejets de chaleur des centrales nucléaires, la réglementation fixe des taux différents selon que le rejet est réalisé en mer ou en rivière.

- chaleur rejetée en mer : 8,5 €/Mthermie[3]
- chaleur rejetée en rivière (d'avril à décembre) : 85 €/Mthermie.

La loi encadre les règles d'assiette et plafonne les taux de redevances, mais les Conseils d'administration des agences de l'eau fixent chacun pour leur bassin les taux applicables.

Les redevances perçues par les agences de l'eau (*cf.* tab. I) permettent de financer les actions de lutte contre la pollution, de protection des ressources en eau et des milieux naturels aquatiques. Les communes, les industriels, les agriculteurs peuvent bénéficier d'aides financières selon les travaux qu'ils réalisent.

Tab. I Redevances perçues par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne 9e programme 2007-2012 (millions d'euros)

Redevance sur les prélèvements d'eau	352,2
Prélèvement pour l'eau potable	200,2
Prélèvements EDF	95,2
Prélèvements industriels	13,1
Irrigation	31
Prélèvement pour l'hydroélectricité	1,8
Redevance sur la pollution	1 483,7
Pollution domestique et collecte domestique	1 294,5
Pollution industrielle et collecte industrielle	102,1
Pollutions diffuses	67,4
Pollution due à l'élevage	19,7
Total des redevances : prélèvements + pollution	1 835,9

1. Arrêté du 19 décembre 2011 relatif à la mesure des prélèvements en eau et aux modalités de calcul de l'assiette de la redevance pour prélèvement sur la ressource en eau.
2. Modifié par la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010.
3. 1 thermie = 4,18 MJ.



4.2 Redevances des Voies Navigables de France (VNF)

Lors de la création de voies navigables de France, la loi de finances n° 90-1168 du 29 décembre 1990 a prévu que l'établissement percevrait, pour assurer ses missions d'amélioration, d'extension et d'entretien des voies navigables françaises, une redevance sur les titulaires d'ouvrages de prise d'eau, rejet d'eau. Cette redevance est calculée sur la base de l'emprise des ouvrages sur le domaine public fluvial et sur **volume prélevable ou rejetable**.

4.3 Redevances pour occupation du domaine public fluvial et maritime

Toute occupation ou utilisation du domaine public (notamment maritime ou fluvial) donne lieu au paiement d'une redevance, sauf dérogation particulière (article L. 2125-1 du Code général de la propriété des personnes publiques – CGPPP). Les centrales nucléaires d'EDF sont concernées par cette disposition. Il appartient à l'autorité chargée de la gestion du domaine public en cause, de fixer les modalités de la redevance d'usage du domaine public.

4.4 Redevance pour service rendu par le soutien d'étiage

L'agence de l'eau peut percevoir, à la demande d'un Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) et pour le compte de celui-ci, des redevances instituées par cet établissement pour service rendu en application de l'article L. 211-7 du Code de l'environnement. Le produit de cette redevance payée par les usagers de l'eau est destinée à financer l'entretien, l'exploitation et les aménagements des ouvrages hydrauliques (retenues, lacs…) ; elle est calculée sur les volumes d'eau prélevés.

5. Rôle des organismes communautaires et internationaux

Le droit international communautaire confère à certains organismes des missions d'inspection et d'évaluation en matière de sûreté nucléaire et d'environnement.

Traité EURATOM

Quatre articles du traité se réfèrent aux rejets radioactifs et à la radioactivité dans l'environnement. Au titre de l'article 35, la Commission a le droit d'accéder aux dispositifs de contrôle de la radioactivité et des rejets radioactifs des centrales nucléaires afin d'en vérifier le fonctionnement et l'efficacité. Chaque inspection fait l'objet d'un rapport technique et de conclusions générales qui sont mis à la disposition du public sur le site internet de la Commission européenne (http://ec.europa.eu/energy/nuclear).

Convention OSPAR (Oslo-Paris)

La convention OSPAR de 1992 pour la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est prévoit une évaluation régulière de la qualité du milieu marin et des dispositions prises par les pays contractants[1] pour prévenir et réduire les sources telluriques de pollution. En ce qui concerne les substances radioactives, les pays contractants doivent :

- fournir des plans nationaux indiquant les modifications apportées aux autorisations de rejet, les améliorations visant à réduire les rejets et les prévisions des baisses de rejet jusqu'en 2020,
- remettre tous les quatre ans des rapports nationaux sur l'application des meilleures techniques disponibles,
- transmettre des données annuelles sur les rejets radioactifs liquides.

Les progrès accomplis par les pays contractants sont appréciés au regard d'une référence constituée par le niveau des rejets entre 1995 et 2001. Ce niveau est décomposé suivant trois paramètres :

1. Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Irlande, Islande, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Commission européenne.

- les rejets radioactifs liquides,
- les concentrations dans la mer,
- l'impact dosimétrique qui en résulte pour les personnes du public.

C'est à partir de cette référence (ligne de base) que sera évalué, en 2020, le respect des engagements pris par les pays contractants à Sintra (Portugal) en 1998 pour *« prévenir la pollution par des réductions progressives et substantielles des rejets, émissions et pertes de substances radioactives ».*

Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA)

L'AIEA réalise des missions dites OSART (Operating Safety Assessment Review Team) dans les centrales nucléaires dans le but de renforcer la sûreté par la mise en commun de l'expérience d'exploitation.

Bibliographie

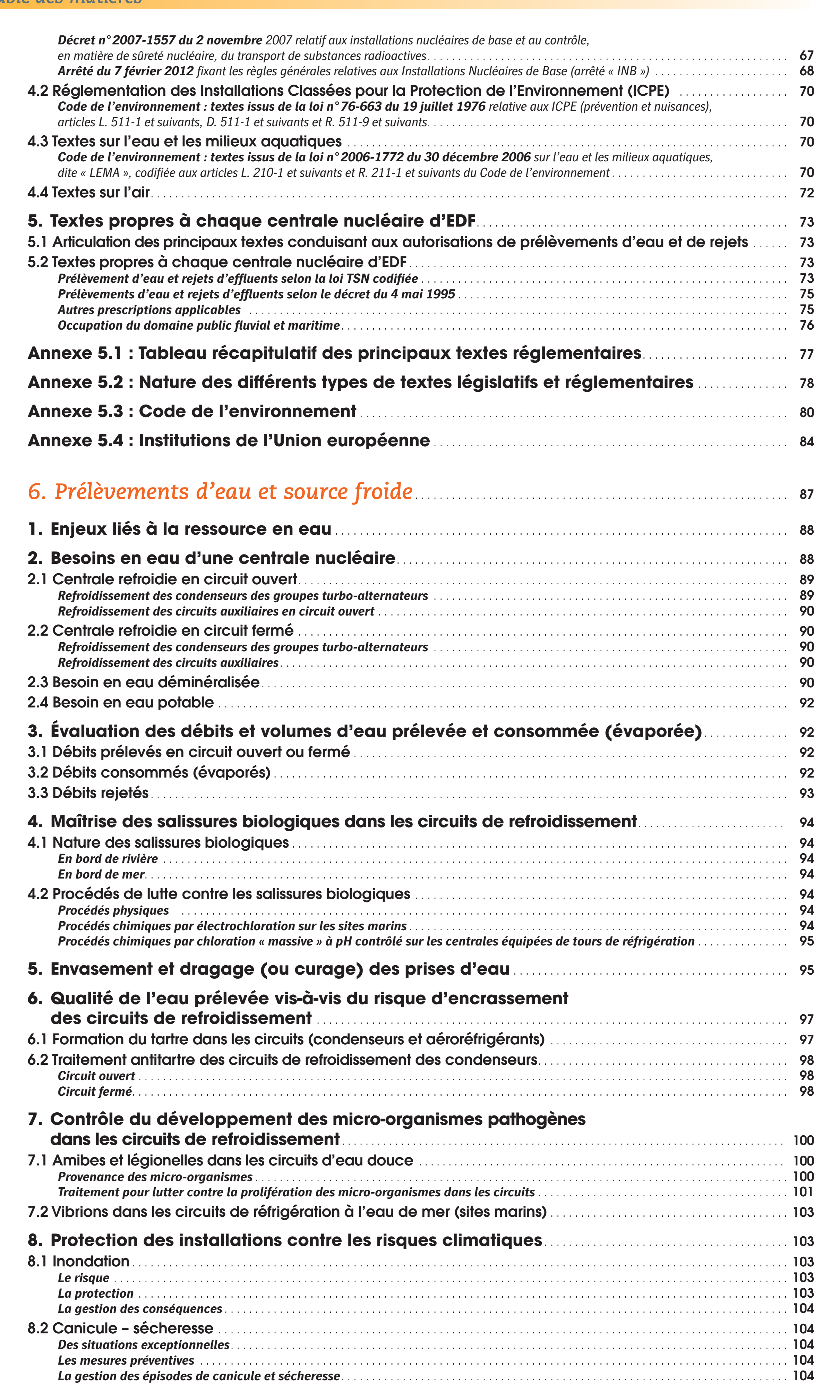
- Revue « Contrôle » ASN sur les rejets radioactifs en France, nov. 2007.

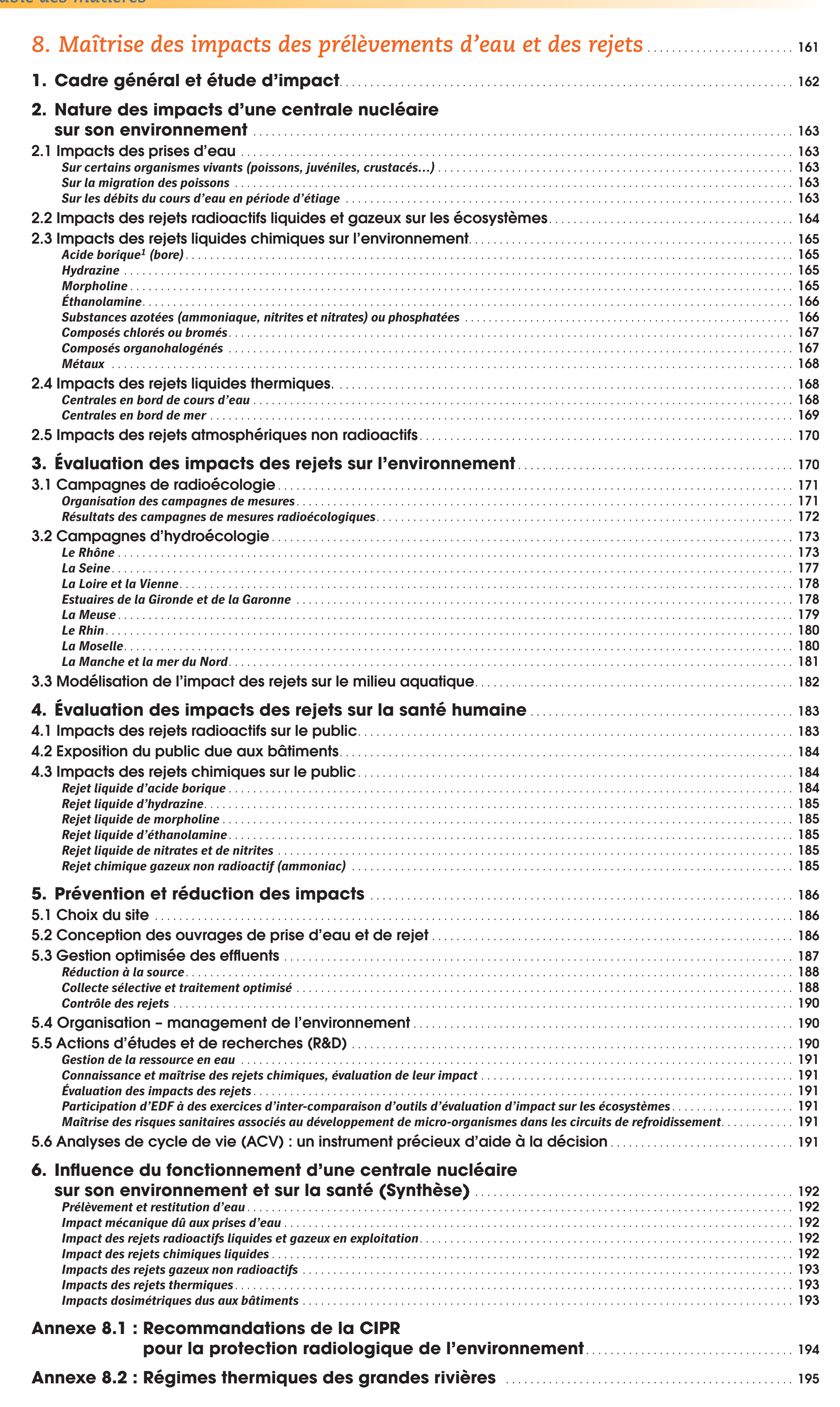
Pour en savoir plus

- http://texteau.ecologie.gouv.fr
- http://www.sante.gouv.fr
- http://www.vnf.fr
- http://www.onema.fr
- http://www.asn.fr
- http://www.irsn.fr



Table des matières





8. Maîtrise des impacts des prélèvements d'eau et des rejets 161

